

N° 69  
251



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**"EVALUACION FISICOQUIMICA Y MICROBIOLOGICA  
DE LA CALIDAD DEL AGUA"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**Químico Farmacéutico Biólogo**

P R E S E N T A :

**Alejandro Hernández López**

MEXICO, D. F.

1992.

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

OBJETIVOS . . . . .	7
1 INTRODUCCION . . . . .	6
2 INDICES DE CALIDAD DEL AGUA . . . . .	12
3 REQUERIMIENTOS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS . . . . .	24
3.1 Muestreo . . . . .	24
3.1.1 Selección de los puntos de muestreo . . . . .	24
3.1.2 Frecuencia del muestreo . . . . .	25
3.1.3 Tipo de muestras . . . . .	26
3.1.4 Métodos de muestreo . . . . .	27
3.1.5 Tipo de muestreo . . . . .	30
3.1.6 Material y equipo para muestreo . . . . .	35
3.1.7 Preservación y almacenamiento de la muestra . . . . .	36
3.1.8 Etiquetado y registro de campo . . . . .	41
3.2 Análisis . . . . .	42
3.2.1 Fisicoquímicos . . . . .	42
3.2.1.1 Análisis en el campo . . . . .	42
a) Conductividad . . . . .	42
b) Gasto . . . . .	44
c) Potencial de hidrógeno . . . . .	48
d) Oxígeno disuelto . . . . .	51

e) Temperatura . . . . .	53
3.2.1.2 Análisis en el laboratorio . . . . .	54
a) Color . . . . .	55
b) Turbiedad . . . . .	56
c) Conductividad . . . . .	58
d) Potencial de hidrógeno . . . . .	58
e) Acidez y Alcalinidad . . . . .	58
f) Dureza . . . . .	60
g) Cloruros . . . . .	62
h) Cloro residual . . . . .	63
i) Sólidos . . . . .	65
j) Oxígeno disuelto . . . . .	67
k) Nitrógenos . . . . .	67
l) Sulfatos . . . . .	70
m) Fluoruros . . . . .	72
n) Demanda bioquímica de oxígeno . . . . .	74
ñ) Demanda química de oxígeno . . . . .	75
o) Fósforo . . . . .	76
p) Boro . . . . .	77
q) Sustancia activa al azul de metileno . . . . .	79
r) Fenoles . . . . .	80
s) Grasas y Aceites . . . . .	81
t) Metales . . . . .	82
3.2.2 Microbiológicos . . . . .	88
3.2.2.1 Coliformes . . . . .	89
3.2.2.2 <i>Estreptococos fecales</i> . . . . .	95

4	RESULTADOS ANALITICOS . . . . .	98
5	APLICACION DEL INDICE E INTERPRETACION DE RESULTADOS . .	133
5.1	Metodologia . . . . .	133
5.2	Usos recomendados del agua de acuerdo al indice . .	157
5.3	Evaluación de los parámetros seleccionados. . . . .	160
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	168
6.1	Conclusiones . . . . .	168
6.2	Recomendaciones . . . . .	170
7	SIMBOLOGIA . . . . .	172
	BIBLIOGRAFIA . . . . .	173

## INDICE DE CUADROS Y GRAFICA

Cuadro 1. Tipo de preservativo que necesita c/parámetro . . .	40
Cuadro 2. Promedio de los resultados de Xochimilco, D.F. . . .	129
Cuadro 3. Promedio de los resultados del río Tula, Hgo. . . .	130
Cuadro 3. Continuación . . . . .	131
Cuadro 4. Promedio de los resultados en la red V. México . . .	132
Cuadro 5. Valores permisibles para agua potable . . . . .	145
Cuadro 6. Valores permisibles para agua de uso piscícola y vida acuática . . . . .	146
Cuadro 7. Valores permisibles para agua de uso recreacio- nal con contacto primario . . . . .	147
Cuadro 8. Valores permisibles para agua de uso industrial . . .	148
Cuadro 9. Valores permisibles para agua de riego . . . . .	149
Cuadro 10. Valores permisibles para agua de navegación . . .	150
Cuadro 11. Ecuaciones y pesos de importancia c/parámetro . .	151
Cuadro 12. Escala general de los diferentes usos del agua . . .	152
Cuadro 13. Valores de IiWi e IG de Xochimilco, D.F. . . . .	153
Cuadro 14. Valores de IiWi e IG del Río Tula, Hgo. . . . .	154
Cuadro 14. Continuación . . . . .	155
Cuadro 15. Valores de IiWi e IG en la red V. México . . . . .	156
Gráfica 1. Índice de calidad para sulfatos . . . . .	144

## OBJETIVOS

- 1.- Proponer las modificaciones necesarias a un índice de calidad del agua, en base a las normas mexicanas de agua potable.
- 2.- Obtener un índice de calidad de agua (natural, residual o tratada) que sea lo bastante flexible para que indique el uso más pertinente de dicha agua en base a sus características fisicoquímicas y microbiológicas.
- 3.- Aplicar el índice de calidad obtenido a las muestras de agua de las redes de monitoreo de: Xochimilco, D.F.; Río Tula, Hgo. y Valle de México que llegaron al laboratorio del Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua (CIECCA) en 1988.
- 4.- Realizar una evaluación de los datos fisicoquímicos y microbiológicos en las muestras que se aplico el índice.

## 1 INTRODUCCION

El agua como elemento esencial de la vida, ha sido participante determinante en el desarrollo de la humanidad, es por eso que toda gran cultura se ha desarrollado cerca del agua. El agua en sus diversos estados físicos ocupa las tres cuartas partes de nuestro planeta, el hombre sólo ha aprendido a usar en sus actividades diarias: la de los ríos, la de lagunas, del subsuelo y en mucho menor proporción el agua de mar.

Los usos a los cuales el hombre destina el agua son muy variados, entre otros: para riego agrícola, para fines piscícolas, en la industria, en la generación de energía, como medio de transporte, como vehículo de disposición de los desechos: municipales, industriales y de retorno agrícola y el uso más importante para beber. Tales usos han originado un considerable impacto ambiental, en especial el de deshacerse de toda clase de desechos en ella, causando efectos negativos que se dejan sentir sobre la flora, fauna y en el hombre mismo.

El agua por ser un recurso natural limitado, debe obligar al hombre a darle un uso más racional, es decir no desperdiciarla y mantener su calidad en el grado óptimo posible, tratando de darle el uso más adecuado según su calidad, es decir reutilizando el agua en actividades que requieran agua de menor calidad; para ello es necesario determinar su calidad a través de análisis físicos, químicos y microbiológicos.



Para determinar la utilidad más factible a dar al agua, es necesario representar la calidad de ésta con una expresión numérica (%) de fácil interpretación, por medio de la evaluación de sus componentes físicoquímicos y microbiológicos, es decir un "Índice de calidad".

El índice de calidad del agua proporciona un medio cuantificable y comparable que agrupa resultados analíticos en forma porcentual. Así, el agua altamente contaminada tendrá un índice de calidad diferente al del agua con baja contaminación; el primero cercano o igual a cero y el segundo cercano o igual a 100%

El objetivo del índice de calidad es facilitar a una gran mayoría de gente, entender el grado de contaminación; debido a que el reportar los resultados de los análisis en mg/l tiene dos desventajas: 1) Poca gente entiende el significado de los resultados, y 2) La unidad de mg/l sólo es comparable consigo misma. Por lo tanto, si los resultados son transformados a porcentaje de contaminación, el agua está evaluada en términos semejantes y fácilmente entendibles.

En este trabajo se propone un índice de calidad, en el cual se tomaron en cuenta los valores permisibles que marca la norma oficial mexicana de agua potable, tomando como base el procedimiento de Dinius (8, 9). Dicho índice puede ser aplicado a los diferentes usos del agua.

El índice de calidad (S.H. Dinius) se modificó a nivel de las funciones (ecuaciones), para que el resultado obtenido este de acuerdo a los valores que marcan las leyes mexicanas. Ya que si no fuera modificado, se estaría evaluando las aguas de acuerdo a las leyes que marcan los Estados Unidos.

En el desarrollo del presente trabajo, se consideró en primer lugar un capítulo de índices de calidad del agua, en el cual se describen las generalidades de varios índices de calidad, incluyendo los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se utilizan en cada uno de ellos para determinar la calidad del agua.

En segundo lugar, se estimó necesario un capítulo de requerimientos fisicoquímicos y microbiológicos, debido a que la generación de resultados analíticos está sujeta a que la muestra de agua sea representativa y a que la determinación analítica sea seguida adecuadamente, es por ello que se incluye en este capítulo el muestreo más adecuado para obtener muestras representativas; así como los fundamentos de cada una de las técnicas que se desarrollaron en la generación de los resultados analíticos.

También se incluye un capítulo de aplicación del índice de calidad e interpretación de resultados en el cual se desarrolla el procedimiento de modificación del índice de calidad de Dinius, así como la aplicación del nuevo índice de calidad en resultados

analíticos de muestras de agua natural y residual, y en base al valor numérico de este índice se indica el uso más adecuado del para esas aguas.

Por último, se agregan las conclusiones y las recomendaciones en un capítulo aparte.

## 2 INDICES DE CALIDAD DEL AGUA

Durante los últimos años, diversos grupos de investigadores han tratado de realizar un índice de calidad del agua (ICA), el cual represente las características del agua.

En 1971, E. L. David (5) publicó los resultados de un estudio titulado "Conceptos públicos sobre la Calidad del Agua". Este fue realizado en la Universidad de Wisconsin e incluyó cerca de 600 residentes del Estado de Wisconsin.

La encuesta consistió en una serie de preguntas referentes a las actitudes y opiniones que el público, en general, tiene con respecto a la calidad del agua. En particular, se pretendió determinar como define la gente el concepto de "contaminación de aguas".

Los resultados indican que la presencia de algas es lo más importante para la mayoría de la gente. Agua "obscura, turbia, sucia" pasa a segundo término en importancia. Una cuarta parte de la gente asocia a los jabones y espumas como contaminación. Las latas y vidrios no son considerados como contaminación, sin embargo desaniman a la gente para su consumo. La presencia de hierbas no parece ser importante.

Debido a los resultados obtenidos, David concluyó que "Hay necesidad de relacionar los conceptos que el público tiene acerca de la calidad del agua, con los parámetros que las autoridades consideran como medidas importantes de ella".

En 1965; Horton (15) propone una técnica para evaluar las condiciones del agua, que describen la calidad de ésta en términos de valores comparativos.

La técnica se basa sobre términos relativos de calidad del agua y contaminación, en el cual se obtienen valores absolutos de la calidad del agua. La dificultad de la técnica radica en que se consideran diferentes valores permisibles para cada parámetro.

La técnica consiste primero, en la selección de los parámetros que el autor considera importantes; segundo, en el establecimiento de una escala de evaluación para cada parámetro, y tercero, un peso de importancia. Que se resumen en la siguiente expresión matemática:

$$IC = \left[ \begin{array}{c} C_1 W_1 + C_2 W_2 \text{ ----} + C_n W_n \\ \text{-----} \\ W_1 + W_2 \text{ ----} + W_n \end{array} \right] M_1 M_2$$

Donde: IC = Índice de calidad

C = Calidad del parámetro

W = Peso de importancia

M<sub>t</sub> = Coeficiente de temperatura

M<sub>o</sub> = Coeficiente de contaminación obvia

La calidad del parámetro es determinada por medio de la escala de evaluación, considerada por el autor.

Los parámetros que utiliza la técnica son: oxígeno disuelto, extractables en carbón cloroformo, pH, temperatura, conductividad, cloruros, alcalinidad, carbón total y contaminación obvia.

El propósito de la técnica es el de contar con un sistema de comparación de las condiciones químicas y físicas del agua. La limitación de la técnica es la disponibilidad de datos para poder evaluar la calidad del agua.

En 1970; La Fundación Nacional de Saneamiento de Michigan (33) realizó un estudio sobre el índice de calidad de agua, basado en nueve parámetros fisicoquímicos seleccionados de acuerdo con la opinión de especialistas en el ramo. Los parámetros seleccionados fueron los siguientes: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos totales.

En 1971; L. Prati, R. Pavanello y F. Pesarin (20) publican un índice de calidad del agua para la determinación de la calidad de aguas superficiales, tomando en cuenta el uso del agua y la concentración de los contaminantes descargados. La clasificación de los grados de contaminación están determinados por la concentración y dilución de los componentes.

El índice considera 5 diferentes grados de contaminación, que son: excelente, aceptable, ligeramente contaminada, contaminada y fuertemente contaminada, en las cuales el grado de contaminación del agua es incrementado conforme aumenta el valor del índice.

El índice se calcula por la siguiente expresión matemática:

$$I = \frac{\sum X_i}{n}$$

Donde: I = Índice de calidad del agua

X<sub>i</sub> = Índice de calidad del contaminante

n = Número de parámetros

El índice de calidad del contaminante (parámetro), es determinado por un función (ecuación), las cuales transforman los valores de concentración a niveles de contaminación, expresados en "unidades de medición de contaminación".

El índice para la evaluación de la calidad del agua considera los parámetros: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno amoniacal, nitratos, cloruros, hierro, manganeso, detergentes, carbón orgánico disuelto, oxígeno consumido en medio ácido y extractables en carbón cloroformo.

En 1971; Brown (33) propone un índice de calidad de agua, que posteriormente, en 1973-1974 el Grupo de Chapala (34) lo utiliza para evaluar la calidad del agua del lago de Chapala, Jal.

El índice es aplicable a las aguas superficiales, el cual toma en cuenta la concentración de los parámetros y su tiempo de permanencia en el agua.

El índice es una expresión matemática que considera el grado de contaminación del agua, la cual es:

$$ICA = \sum Q_i W_i$$

Donde: ICA = Índice de calidad del agua

Q<sub>i</sub> = Calidad del parámetro

W<sub>i</sub> = Peso unitario del parámetro

Siendo:  $\sum W_i = 1$



Para obtener la calidad del parámetro, se interpola la concentración de éste en una curva, la cual transforma los datos analíticos en valores del índice.

Los parámetros que considera el índice son: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes fecales, coliformes totales, pH, sólidos suspendidos, nitrógeno amoniacal, nitratos, fosfatos, fenoles y gradiente de temperatura.

La calidad del agua es evaluada en cinco diferentes grados: altamente contaminada, contaminada, poco contaminada, aceptable y excelente; en donde conforme aumenta el valor del índice se mejora la calidad del agua.

En 1972; S. H. Dinius (10) propone un índice de calidad del agua, para la evaluación de la calidad de aguas marinas de uso turístico, que posteriormente en 1980, Dioní (10) lo utiliza para evaluar la calidad del agua de la bahía de Acapulco.

El índice toma en cuenta parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, tomando como referencia aspectos estéticos y sanitarios, donde se consideran más importantes los análisis microbiológicos. El índice se calcula por la expresión matemática:

$$ICA = \sum Q_i W_i$$

Donde: ICA = Índice de calidad del agua

$Q_i$  = Calidad del parámetro

$W_i$  = Peso de importancia relativa

En este caso, la obtención de la calidad del parámetro se realiza por medio de una función (ecuación), la cual transforma las concentraciones de cada parámetro a unidades del índice.

Para evaluar la calidad del agua, el índice considera los parámetros: temperatura, salinidad, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, cociente de coliformes fecales/estreptococos fecales, grasas y aceites, heces fecales y basuras flotantes.

En 1974: M. Walski, M. Thomas y Parker L. Frank (35) presentan su índice de calidad de agua, el cual es específico para la clasificación de aguas de uso recreativo y pesca. Este índice fue utilizado en 1975, para evaluar la calidad del agua de la bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. (1)

Para el desarrollo de la expresión matemática siguiente, se consideran características físicas, químicas y recursos naturales.

$$ICA = \left[ \sum F_i(P_i)^a \right]^{1/a}$$

Donde: ICA = Índice de calidad del agua

$F_i(P_i)$  = Función de sensibilidad para el parámetro

a = Peso de cada parámetro

Para obtener la función de sensibilidad de cada parámetro, se utiliza una serie de funciones (ecuaciones), las cuales transforman el valor de concentración a valores de calidad.

Para la evaluación de la calidad del agua, el índice considera los parámetros: gradiente de temperatura, temperatura, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos, coliformes totales, turbiedad, color, pH, grasas y aceites, olor, transparencia y oxígeno disuelto.

El índice considera cinco diferentes clases de calidad, que son: excelente, bien, aceptable, mal e inaceptable; las cuales tienen la primera un valor de 1.0 y la última un valor de 0.01 de los valores del índice.

En 1974; Harkins (14) diseña un índice no paramétrico, que se basa en análisis multivariados, análisis estadísticos y juicios de expertos en la materia. Que fue diseñado para la evaluación de la calidad de aguas industriales.

Los análisis estadísticos incluyen análisis de rango, varianza y comparación con valores de control de calidad.

El método puede ser utilizado como una simple comparación entre una estación de muestreo y otra, pero no puede ser utilizado para suplantar una evaluación cuidadosa del agua que determine los problemas de contaminación.

En 1977; David J. Schaeffer y Konanur G.J. (26) desarrollan un índice de calidad del agua no paramétrico, que se basa en propiedades estadísticas.

Este índice evalúa la calidad del agua en cuatro diferentes grados de contaminación, los cuales tienen cada uno el 25% de la unidad. Los grados de contaminación se denominan: A, B, C y D; que son bueno, medio, claro y pobre respectivamente.

En el grado A, se considera que existe un equilibrio entre los organismos y el cuerpo de agua; en B existe un desequilibrio en el cuerpo de agua; en C se considera que el agua está semicontaminada y empieza a existir destrucción del cuerpo de agua; y en D se considera el agua contaminada, en la cual sólo sobreviven organismos tolerantes.

En 1984; Lohani N. Bindu y Todino G. (16) desarrollaron un índice de calidad, para evaluar el agua del río Chao Phraya en Tailandia.

El desarrollo de dicho índice de calidad puede resumirse en: colección de datos, medición del valor, análisis de grupos y transformación a valores del índice.

El índice evalúa la calidad del agua en dos secciones diferentes, la contaminada y la no contaminada; la primera es evaluada con los parámetros: cloruros, conductividad, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, coliformes totales y pH; y la segunda: oxígeno disuelto, cloruros, nitratos, conductividad, turbiedad, sólidos suspendidos, nitritos, fosfatos y pH.

En 1984; Tejeda, Orta y Murillo (32) utilizan el índice de S. H. Dinius para evaluar la calidad de las aguas de los ríos Lerma, Atoyac, Santiago, Blanco, Amacuzac, Conchos, Balsas, Coahuayana, Coatzacoalcos, Pánuco, Bravo, Culiacán, Fuerte y San Juan; basándose en los parámetros: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, detergentes, grasas y aceites, nitrógeno amoniacal, nitratos, color, turbiedad, dureza total, cloruros, coliformes totales, coliformes fecales, boro y plomo.

El objetivo del índice es contar con un lenguaje sencillo de comprender, que permita comunicar a la mayoría de la población y en especial a los tomadores de decisiones, la magnitud de la contaminación del agua.

De los índices de calidad de agua antes mencionados, se concluye que éstos son diseñados para usos específicos de las aguas y dependiendo del uso, se definen los parámetros de calidad. Además de que cada autor delimita, en base a su experiencia, el intervalo de valores para cada parámetro.

En este estudio de evaluación fisicoquímica y microbiológica, se seleccionó para la evaluación de la calidad del agua el índice de S. H. Dinius, debido a que es un índice que puede ser aplicado a los diferentes usos del agua aunque no se cuente con la totalidad de los parámetros seleccionados, permite comunicar los niveles de calidad del agua de una forma accesible a gran parte de la población, ofrece una unidad definida de medición y responde a cambios en la calidad del agua. Además, este índice proporciona un medio para agrupar resultados de análisis químicos del agua a una forma de porcentaje de contaminación comparable.

S. H. Dinius (8, 9, 22) realizó un estudio similar al de la Fundación Nacional de Saneamiento, con la ventaja de que el índice intenta ser más general y alcanzar mejor definición en la función (ecuaciones que transforman los resultados analíticos en porcentaje de contaminación) de respuesta de calidad de cada parámetro. Además el índice puede ser adaptado al uso de las diferentes situaciones del agua.

A continuación se describe la expresión matemática y algunas de las funciones (ecuaciones) del índice.

$$I = \frac{\sum I_i W_i}{\sum W_i}$$

Donde: I = Índice de calidad del agua

I<sub>i</sub> = Índice de calidad del parámetro, i

W<sub>i</sub> = Peso de importancia relativa

Parámetro	Ecuación
Demanda bioquímica de oxígeno	I <sub>DBO</sub> = 107 (DBO) <sup>-0.048</sup>
Coliformes totales	I <sub>OT</sub> = 100 (CT) <sup>-0.3</sup>
Alcalinidad	I <sub>ALD</sub> = 108 (ALC) <sup>-0.178</sup>
Dureza	I <sub>DUR</sub> = 101.978 - 0.00132(DUR)
Cloruros	I <sub>Cl</sub> = 125.8 (Cl) <sup>-0.207</sup>
Conductividad	I <sub>CE</sub> = 535 (CE) <sup>-0.3868</sup>
Color	I <sub>COLOR</sub> = 128 (COLOR) <sup>-0.228</sup>

En las ecuaciones se observa que la mayoría están expresadas como una potencia [Y = b (x)<sup>m</sup>].

### **3 REQUERIMIENTOS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS**

#### **3.1 Muestreo**

Es el proceso que consiste en separar una pequeña porción del total, de tal manera que represente el carácter y calidad de la masa de la cual se tomó. Es necesario que la muestra sea representativa. (17, 24)

##### **3.1.1 Selección de los puntos de muestreo**

En la elección de los puntos de muestreo, cada localidad deberá ser considerada individualmente. Sin embargo, hay ciertos criterios que siempre deben respetarse:

- a) Los puntos de muestreo deberán ser representativos de las diferentes fuentes de agua.
- b) Los puntos de muestreo deberán elegirse de forma que sean adecuadamente representativos del sistema total y de sus componentes principales.
- c) Establecer la localización de los puntos de muestreo de tal forma que el agua pueda ser muestreada. (17, 29, 19)



### 3.1.2 Frecuencia del muestreo

La frecuencia del muestreo debe ser tal, que el tiempo entre una y otra toma de muestra sea suficiente para detectar variaciones de la calidad del agua. Por lo tanto, la determinación de la frecuencia de muestreo en un cuerpo de agua, deberá llevarse a cabo con una secuencia planeada. El proceso puede dividirse en las siguientes etapas: (29)

a) Recolección de información.- Se requiere de toda la información sobre las condiciones que afectan la calidad del agua y sus variaciones, así como la calidad del agua según el uso. Además, de la recolección de todos los datos analíticos existentes, para ayudar en la evaluación de las variaciones de la calidad del agua en cada estación.

b) Evaluación de necesidades.- Es necesario distinguir cuáles son los parámetros de mayor importancia en la estación, considerando los usos del agua y los niveles a los cuales éstos interfieren con usos existentes o propuestos.

c) Estudios preliminares.- Determinar la calidad del agua existente y sus características de variabilidad y en particular las concentraciones y variaciones de los parámetros de mayor importancia en la estación.

d) **Determinación de la frecuencia de muestreo.**- Con toda la información obtenida será posible ahora confirmar la relativa importancia de los diferentes parámetros y fijar los márgenes que existen entre el nivel presente y el nivel crítico, concentración interferente y frecuencia de las ocurrencias a las cuales se debe tomar acción.

e) **Experiencia operativa y revisión.**- Si los estudios preliminares tienen que ser diferidos hasta después de poner en servicio la estación de muestreo, pueden adoptarse provisionalmente las siguientes frecuencias de muestreo.

Ríos	cada 2 semanas
Lagos	cada 2 meses
Agua subterráneas	cada 3 meses

Al final del primer año se deberán examinar estadísticamente los datos y revisar su frecuencia. Es preciso señalar que el muestreo demasiado frecuente producirá datos innecesarios y aumentará considerablemente el costo. (13, 19)

### 3.1.3 Tipo de muestras

Las muestras de agua pueden ser de dos tipos, muestra simple o compuesta:

a) Muestra simple.- Es aquella muestra individual tomada en un periodo corto, de tal forma que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario para las determinaciones; se debe considerar homogeneidad y tamaño de muestra.

b) Muestra compuesta.- El análisis de una serie de muestras individuales, impone una carga pesada para el laboratorio, aún en el caso que el trabajo esté restringido al análisis de uno o dos parámetros de interés especial. Es práctica común mezclar muestras simples para formar muestras compuestas, ya sea tomando volúmenes o pesos iguales, cuando se integra la muestra con base en el tiempo, o en porciones de acuerdo al caudal existente al momento de tomar la muestra. Los resultados analíticos de una muestra compuesta, serán el promedio sobre el tiempo de muestreo y darán indicación de los valores máximos y mínimos, sobre el periodo de muestreo. (27, 28, 23)

#### 3.1.4 Métodos de muestreo

En la toma de muestras para análisis fisicoquímicos se cuenta con dos tipos de métodos: el manual y el automático.

a) Manual.- Las muestras manuales generalmente se toman en un periodo breve de tiempo y son llamadas muestra puntuales o simples. Esta clase de muestreo es flexible tanto en tiempo como en espacio y hay varios equipos para muestreo manual. El equipo

debe ser de materiales tales que no afecten la composición del agua muestreada, de fácil limpieza, y debe estar libre de cualquier residuo de muestreo anterior, además debe ser fácil transferir el contenido del muestreador al recipiente sin que se pierda materia suspendida por asentamiento en el muestreador. (13, 2)

La eficiencia de los muestreadores manuales depende de la habilidad de la persona que muestrea.

A continuación se describen tipos generales de muestreadores manuales:

-El más simple es un balde casero o jarra de plástico al final de una cuerda. Tiene la desventaja que la muestra es tomada en la superficie y se recolecta una proporción indebida de material flotante. Es conveniente agitar el agua en el balde mientras se transvasa al recipiente de muestra, para prevenir que se asiente la materia suspendida. (13)

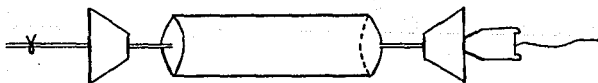
-Una alternativa es sumergir el frasco de muestra directamente en el agua. El recipiente de muestra debe ser lavado en el laboratorio; una ventaja de este método es que la muestra no es transvasada.

-En la determinación de gases disueltos, la muestra debe tomarse por debajo de la superficie, preferiblemente a una profundidad conocida y sin alreación. Esto se realiza con muestreadores específicos que contienen en su interior una botella, que será llenada con la muestra. (13)

-En los muestreos a profundidades mayores de 50 m en lagos, es necesario emplear recipientes cilíndricos verticales, con tapas a cada extremo (muestreador Kemmerer). Para muestreo a diferentes profundidades se pueden suspender varios recipientes a intervalos, en el mismo cable del muestreador.

El volumen necesario de muestra dependerá de las determinaciones a realizarse y será especificado por el laboratorio e incluirá un exceso.

#### Muestreador Kemmerer



b) Automático.- Los muestreadores automáticos están contruidos de materiales resistentes a la corrosión y no interfieren con las determinaciones deseadas. Existe ahora una gran variedad de equipos ingeniosos para tomar muestras mecánicamente de acuerdo a instrucciones predeterminadas. Las muestras pueden tomarse a intervalos fijos o continuamente y pueden ser descargadas en recipientes individuales o en uno sólo para obtener muestras compuestas, además, cuentan con dispositivos que permiten regular la velocidad y frecuencia de extracción. Se han perfeccionado muestreadores automáticos que son complejos y ofrecen una amplia selección de programas de muestreo. La mayoría de ellos funcionan succionando una cantidad determinada de agua mediante una pequeña bomba. (13, 2)

### 3.1.5 Tipo de muestreo

En general la toma de la muestra de agua debe realizarse donde exista un flujo turbulento para asegurarse de homogeneidad.

Los recipientes en donde se deposite la muestra para análisis fisicoquímicos se deberán enjuagar dos o tres veces con el agua de la estación de muestreo (antes de tomar la muestra). (23, 24)

De acuerdo con las particularidades que representan ciertas determinaciones se puede establecer la necesidad de dar un tratamiento diferente a cierto tipo de muestras para determinar

factores específicos, en lo que se refiere a la forma de muestreo. Los parámetros que requieren cuidados específicos son: oxígeno disuelto, grasas y aceites, y análisis bacteriológicos.

**Oxígeno disuelto.-** La toma de la muestra deberá hacerse con cuidado, evitando el contacto con aire o su introducción por burbujeo o agitación. En aguas poco profundas se puede usar una botella de boca angosta con tapón esmerilado. Existe un muestreador específico o muestreador Winkler que contiene en su interior la botella llamada de "DBO", que se llena directamente cuando está a la profundidad deseada. Se recomienda registrar la temperatura. (23)

**Grasas y Aceites.-** El muestreo se hace con frascos de vidrio de boca ancha, de 1000 ml de capacidad; estos deben previamente lavarse y enjuagarse con agua y después enjuagarse con un disolvente orgánico (hexano). La toma de muestra para grasas y aceites, flotantes debe realizarse en la parte superficial del agua y para aceites emulsionados la muestra se toma a 20 o 30 cm de profundidad, cuando no exista mucha turbulencia. (23)

**Bacteriológicos.-** El recipiente debe estar estéril. La muestra debe ser simple y mantenerla en la obscuridad, así como a una temperatura de 4°C. No debe de exceder de seis horas el tiempo entre el muestreo y el traslado de las muestras al laboratorio.

El muestreo se realiza introduciendo el frasco aproximadamente 30 cm bajo la superficie del agua o a la distancia que requiera el estudio. Destapar el frasco dentro del agua; la boca del envase deberá quedar en sentido contrario al flujo de la corriente, evitando que el agua toque las manos del muestreador y posteriormente entre en la botella. Llenar hasta 2/3 partes y tapar dentro del agua. No se debe derramar, ni enjuagar el recipiente.

Si se toma la muestra de un grifo del sistema de servicio, el grifo se abre completamente y se deja fluir el agua por 2 o 3 minutos. En el momento del muestreo se restringe el flujo de la llave, para que se pueda llenar el frasco sin salpicar agua.

A continuación, se describen algunas variantes que pueden presentarse en la toma de muestra, dependiendo del sitio que se desea caracterizar.

a) Obtención de muestras para fisicoquímicos en tomas de agua.- El muestreo en este tipo de conductos, debe hacerse de tal forma que la porción de agua obtenida sea lo más representativa posible; para lo cual se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de la muestra. Las tomas de agua deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente el agua en función de los materiales a utilizarse. (24, 27)



b) Obtención de muestras para fisicoquímicos en descargas libres.- Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento: enjuagar el recipiente muestreador varias veces antes de efectuar el muestreo, introducir el recipiente en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en el recipiente para ésta. En caso de usar alguno de los equipos para muestreo, transferir la muestra al recipiente. (27, 24)

c) Obtención de muestras para fisicoquímicos en canales y colectores.- Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector, de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento. El recipiente muestreador se debe enjuagar varias veces con el agua antes de efectuar el muestreo. Se introduce el recipiente muestreador en el agua completamente y se extrae la muestra. Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa. (27, 24)

d) Obtención de muestras en cuerpos de agua.- Es importante el establecimiento de una serie de puntos a muestrear, que permita definir las condiciones particulares del cuerpo de agua. Las muestras deben obtenerse en la parte superior, media e inferior del cuerpo de agua. (24)

e) Obtención de muestras en corrientes.- Se debe de muestrear en los siguientes puntos:

-Aguas arriba de la descarga, a una distancia que no se manifieste la influencia por la descarga.

-En la descarga misma, lo más próximo posible a su desembocadura al cuerpo receptor.

-Aguas abajo de la descarga, a una distancia donde se considere que se efectúa una mezcla homogénea, de la descarga en el cuerpo receptor.

-A una distancia a la cual se considere que el cuerpo receptor haya asimilado la descarga. (24, 28)

f) Obtención de muestras en lagos, lagunas, presas y embalses.- Además del establecimiento de un programa de muestreo en diferentes puntos del cuerpo de agua, deben ser muestreados los siguientes puntos:

-En los efluentes, antes de desembocar al cuerpo receptor.

-Dentro del cuerpo receptor, donde se aprecie una mezcla homogénea con los efluentes.

-En las salidas del cuerpo receptor (24, 28)

### 3.1.6 Material y equipo para muestreo

- a) Recipientes o frascos de muestra
- b) Muestreador Kemmerer o similar
- c) Muestreador para oxígeno disuelto
- d) Caja de madera para reactivos
- e) Medidor electrométrico de oxígeno disuelto o
- f) Reactivos para fijación de oxígeno disuelto
- g) Pipetas graduadas de 10 ml
- h) Pipetas volumétricas de 100 ml
- i) Botella para oxígeno disuelto
- j) Embudos de plástico
- k) Termómetro con cubierta metálica
- l) Cubetas de plástico
- m) Hielera
- n) Cable para los muestreadores
- ñ) Frascos de vidrio ambar de 125 ml con tapón esmerilado y esterilizados
- o) Frascos de vidrio de boca ancha de 1000 ml
- p) Bureta de 25 ml
- q) Soporte universal
- r) Tres matraces Erlenmeyer de 250 ml
- s) Potenciómetro de campo o papel pH
- t) Conductímetro de campo
- u) Pizeta con agua destilada
- v) Guantes y botas de hule
- x) Preservativos específicos
- y) Lancha de motor (cuando se estime necesario)

Los recipientes o frascos de muestra deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas, generalmente polietileno y deberán sellar herméticamente con un tapón de rosca. Existen tres consideraciones químicas que se deben tomar en cuenta para escoger los recipientes de muestreo:

- Transferencia del recipiente a la muestra.
- Transferencia de la muestra al recipiente.
- Reacción directa con el recipiente.

Cuanto más pequeñas son las concentraciones más importantes son estos aspectos, en general se hacen más significativos para concentraciones menores de 1 mg/l. (27, 28, 23)

### 3.1.7 Preservación y almacenamiento de la muestra

Una vez que se ha tomado la muestra, se inician los cambios en la concentración de los parámetros. Algunos serán bastante rápidos y otros pueden ser prolongados, pero pocos parámetros presentan estabilidad permanente. La consecuencia de estos cambios será que el agua analizada no sea representativa del agua muestreada.

Los parámetros pueden clasificarse en tres grupos:

- 1) Conservativos. No cambian con el tiempo

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 2) Medianamente conservativos | Cambian con el tiempo pero pueden ser estabilizados al menos por 24 horas, con un tratamiento apropiado |
| 3) No conservativos.          | Varían rápidamente con el tiempo y no pueden ser estabilizados  |

Los dos primeros pueden medirse tomando muestras representativas del agua para su análisis subsecuente en el laboratorio. El tercer grupo incluye temperatura, pH y oxígeno disuelto; que necesitan ser medidos "in situ", inmediatamente después de la toma de la muestra. (13)

Las concentración de los parámetros durante el almacenamiento se ve afectada debido a cambios:

**Biológicos.-** Debido a que la actividad metabólica de los microorganismos pueden afectar un gran número de parámetros (demanda química de oxígeno, nitrógeno, fosfatos, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto, etc.).

**Químicos.-** Debido a que los parámetros pueden oxidarse o más escasamente reducirse. Los cambios en el contenido de bióxido de carbono pueden dar lugar a cambios en el pH y en la alcalinidad del agua.

**Físicos.-** Adsorción de sustancias coloidales o disueltas sobre las superficies del recipiente o materiales suspendidos. Floculación de materia coloidal y adsorción sobre el sedimento.

Los métodos de preservación tienen como objetivo el de retardar los cambios químicos y biológicos que tendrán lugar en la muestra. (24)

Existen varios métodos de preservación pero su efecto es más de retardar que de fijar. Los métodos pueden ser:

1) Refrigeración.- El almacenaje de las muestras a temperatura aproximadamente de 4°C, preferiblemente en la oscuridad, retardará sustancialmente la actividad biológica y reduce la tasa de acciones físicas y químicas. Este método tiene la ventaja de que no interfiere con las determinaciones analíticas subsiguientes.

2) Preservación química.

-Biócidas. La adición de un biocida inhibirá la acción biológica. Uno de los más utilizados es el cloruro mercuríco. En este tipo de preservación se debe tener mucho cuidado si se determinan concentraciones bajas de mercurio en el laboratorio.

-Acidificación. La adición de ácido (generalmente ácido nítrico) para producir un pH cercano a 2, preservará los metales totales y disueltos por un periodo de 6 meses, además inhibirá la acción biológica. También puede ser utilizado el ácido sulfúrico, como preservativo en el caso de grasas y aceites.

-Casos especiales. Ciertos parámetros necesitan tratamiento individual, por ejemplo, para preservar cianuros se necesita incrementar el pH entre 10 y 11 adicionando hidróxido de sodio a la muestra.

La adición de un preservativo químico hace que la muestra sea inadecuada para diferentes determinaciones y es necesario tomar varias muestras. (13, 24)

En muestras de agua potable, el tiempo de almacenamiento máximo que se recomienda es de 30 a 48 horas, y deben conservarse en refrigeración.

En el cuadro No. 1 se especifica el tipo de preservativo, según el parámetro que se desea determinar.

Cuadro 1. Especifica el tipo de preservativo necesario según el parámetro que se desea determinar, el volumen mínimo, el tipo de envase recomendado y el tiempo máximo de almacenamiento de la muestra.

Requerimientos de muestreo

Parámetro	Recipiente	Volumen	Preservativo	Almacenamiento
Acidez	P ó V	100	Refrigeración	24 horas
Alcalinidad	P ó V	200	Refrigeración	24 horas
Boro	P ó V	100	No requiere	28 días
Cianuros	P ó V	500	Hidróxido de sodio a un pH > 12, refrigeración	24 horas
Cloro residual	P ó V	500	Analizar inmediatamente	0.5 horas
Cloruros	P ó V	100	Ninguno	7 días
Coliformes	V		Refrigeración, oscuridad	6 - 24 horas
Color	P ó V	500	Refrigeración	48 horas
Conductividad	P ó V	500	Refrigeración	28 días
Cromo 6+	P ó V	300	Refrigeración	24 horas
DBO	P ó V	1000	Refrigeración	6 horas
DQO	P ó V	100	Acido sulfúrico a pH < 2	7 días
Dureza	P ó V	100	Acido nítrico a pH < 2, refrigeración	6 meses
Fenoles	P ó V	500	Acido sulfúrico a pH < 2, refrigeración	
Fluoruros	P	300	No requiere	28 días
Fosfatos	P(A) ó V(A)	100	Refrigeración	48 horas
Grasas y aceites	V	1000	Acido sulfúrico a pH < 2, refrigeración	28 días
Metales	P(A) ó P(A)		Acido nítrico a pH < 2, refrigeración	6 meses
Nitrógeno:				
amoniacal	P ó V	500	Analizar lo más pronto posible	7 días
nitrato	P ó V	100	Acido sulfúrico a pH < 2, refrigeración	48 horas
nitrito	P ó V	100	Refrigeración a -20°C	No designado
orgánico	P ó V	500	Acido sulfúrico a pH < 2, refrigeración	7 días
Oxígeno disuelto	V ó Wintler	300	Analizar en campo ó fijar	6 horas
pH	P ó V		Analizar inmediatamente	2 horas
SAAM	V	100	Cloruro mercurico	24 horas
Silice	P		Refrigeración	28 horas
Sólidos	P ó V		Refrigeración	7 días
Sulfatos	P ó V	100	Refrigeración	28 días
Temperatura	P ó V		Analizar inmediatamente	
Turbiedad	P ó V		Analizar inmediatamente	24 horas

P = Polietileno

V = Vidrio borosilicato

(A) = Enjuagado con ácido nítrico 1:1

GEMS: Sistema mundial de monitoreo del ambiente/Aguas. "Guía Operacional". CEPIS: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. 1983.



### 3.1.8 Etiquetado y registro de campo

Cada muestra debe ser perfectamente individualizada. Para esto, estará acompañada de un formato en el que se anotarán todos los datos necesarios para reconocer el lugar de donde se le obtuvo, así como el momento, las características y el nombre de la persona que muestreo. Por consiguiente, en la etiqueta de cada muestra debe aparecer como mínimo la siguiente información. (17)

- Cuerpo de agua en estudio
- Número y nombre de la estación
- Identificación de la descarga
- Fecha y hora de muestreo
- Nombre del muestreador

Asimismo, es indispensable llevar una hoja de registro con los siguientes datos:

- Información contenida en la etiqueta
- Resultados de las determinaciones de campo
- Localización de la estación de muestreo. (24, 27, 28)

## 3.2 Análisis

### 3.2.1 Físicoquímicos

#### 3.2.1.1 Análisis en el campo

Cuando se va a iniciar un estudio para evaluar o controlar la contaminación en un cuerpo de agua, es necesario hacer un reconocimiento preliminar del problema de la zona, con el objeto de planificar la forma como se iniciará y desarrollará el trabajo para la obtención de resultados. (30)

Realizados todos los estudios anteriores y seleccionados los puntos de muestreo para iniciar la generación de resultados, las determinaciones que se realizan en campo son las siguientes:

- Conductividad
- Gasto
- pH (potencial de hidrógeno)
- Oxígeno disuelto
- Temperatura

#### a) Conductividad

La conductividad es la propiedad que tiene una solución para transportar la corriente eléctrica. La conducción de la corriente eléctrica en agua puede explicarse por medio de la disociación

eléctrica de las moléculas. Esta teoría establece que cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal; son relativamente buenos conductores debido a que una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos. La habilidad de conducir la corriente eléctrica depende de la concentración total de iones, estado de oxidación y de la temperatura.

La conductancia se expresa en mhos ó siemens (S), en la conductividad se toma en cuenta la conductancia y la constante de la celda. Por lo tanto la conductividad o conductancia específica, se expresa en mhos/cm o S/cm.

El dato de conductividad en el laboratorio sirve como indicador del agotamiento de las resinas de intercambio iónico, en la determinación de grandes cambios en el contenido orgánico disuelto de aguas domésticas, y en el establecimiento del grado de mineralización.

Un sistema básico para medir la conductividad, consta de tres elementos: un circuito de un puente de Wheatstone de corriente alterna, una celda de conductividad y un indicador de punto nulo.

En la determinación de conductividad se utiliza el método conductimétrico, que se basa en la medición de la conductividad eléctrica de una muestra dada en la cual, bajo la influencia de una diferencia de potencial que se aplica a través de los dos

electrodos, la corriente eléctrica es acarreada por las especies iónicas a través de la solución con mayor o menor dificultad, dependiendo de la cantidad y naturaleza de los iones presentes.

En este método es muy importante la medición de la temperatura, debido a que la conductividad aumenta conforme aumenta la temperatura. La materia en suspensión en grandes cantidades puede ensuciar el electrodo de la celda, y por lo tanto se obtendrán resultados erróneos. Los aceites y grasas pueden afectar la precisión de las lecturas. (2, 21, 23)

#### b) Gasto

El gasto se define como el volumen de agua que pasa por la sección transversal de una corriente por la unidad de tiempo; y al conjunto de mediciones u operaciones que se realizan para determinar éste, se le llama aforo.

Los métodos para la medición de gastos en caudales de aguas superficiales dependen del volumen, de las condiciones físicas, del lugar donde se va a hacer la medición y del grado de exactitud deseado.

Los métodos para determinar comúnmente el gasto son:

- 1) Método de sección y velocidad.
- 2) Método de sección y pendiente hidráulica.

3) Aforador Parshall.

4) Método volumétrico.

1) Método de sección y velocidad.

Consiste en calcular separadamente la sección o área transversal de la corriente (por sondeo o algún otro procedimiento topográfico) y la velocidad del agua.

La velocidad se determina marcando una distancia fija, con dos puntos de referencia (A,B). Se suelta un flotador a la altura del punto A, aproximadamente a la mitad de la corriente y se toma el tiempo que tarda éste en llegar hasta el punto B, tomando el tiempo del recorrido.

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde: v = velocidad

d = distancia

t = tiempo

Para la determinación de la sección transversal en corrientes regulares tanto en anchura como en profundidad se procede de la siguiente forma:

Se escoge una sección intermedia entre los puntos A y B, midiéndose el ancho de la corriente. Se efectúa un sondeo a lo ancho, introduciendo en diferentes puntos: varas, palos, escalas con divisiones métricas.

$A_m = \text{Ancho} \times \text{Profundidad media}$

El gasto se determina por medio de la velocidad y el área transversal.

$$Q = A_m \times v$$

Donde: Q = Gasto

$A_m$  = Área transversal

v = Velocidad

En corrientes irregulares, el área transversal media empleada en el cálculo del gasto se obtiene promediando las áreas transversales determinadas en los puntos A-A y B-B.

2) Método de sección y pendiente hidráulica.

El método es semejante al anterior, con la diferencia que la velocidad se determina indirectamente, para lo cual es necesario determinar:

El área de la sección transversal media de la corriente en el tramo considerado para el aforo.

El radio hidráulico de dicha sección en el tramo considerado para el aforo.

La pendiente hidráulica a lo largo del tramo considerado para el aforo.

Las características del cauce y el estado en que éste se encuentra a fin de elegir el coeficiente de rugosidad apropiado.

Para el cálculo de la velocidad se usa la fórmula de Manning:

$$v = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:  $v$  = Velocidad media de la corriente

$n$  = Coeficiente de rugosidad (depende de la naturaleza y condiciones del cauce)

$R$  = Radio hidráulico ( $R = A/P$ )

$A$  = Área de la sección transversal

$P$  = Perímetro mojado (perímetro de la sección transversal en contacto con el agua)

$S$  = Pendiente hidráulica

3) Medición de gasto por medio del aforador Parshall.

Consiste en medir la velocidad de la corriente en un canal abierto que tiene una sección de entrada, con lados levemente convergentes hacia una angostura o garganta de dimensiones fijas, a la anchura original del canal. (23, 24)

4) Método volumétrico.

El método se emplea en corrientes pequeñas (tuberías y canales) y manantiales, el cual consiste en recibir el agua en un recipiente de capacidad conocida y tomar el tiempo que se tarda en llenarse totalmente. (23, 24)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde: Q = Gasto

V = Volumen del recipiente

t = Tiempo que tarda en llenarse el recipiente.

#### c) Potencial de hidrógeno

El pH de un sistema acuoso es una medida del equilibrio ácido-base alcanzado por diversos compuestos disueltos y, en la mayoría de las aguas naturales, está controlado por el sistema de equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. Este sistema involucra varios equilibrios, todos ellos afectados por la temperatura.

A una temperatura dada la intensidad del carácter ácido o básico de una solución es indicado por el pH o la actividad del ion hidrógeno. El pH es una escala logarítmica convencional para expresar el rango de actividades iónicas.



La escala práctica de pH se extiende de 0 a 14, con un punto neutro a la mitad, una solución ácida está localizada entre el 0 y el 7, mientras que una solución básica entre el 7 y el 14.

El pH de la mayoría de fuentes de agua natural fluctúa entre 6.5 - 8.5. La concentración del ion hidrógeno puede alterarse en forma significativa durante el tratamiento del agua. La cloración tiende a disminuir el pH, mientras que cuando se suaviza el agua utilizando el método de cal y soda en exceso, se eleva el nivel del pH.

Debido a que el pH afecta los diversos métodos de tratamiento de agua que contribuyen a la remoción de virus, bacterias y otros organismos dañinos, podría sostenerse que el pH ejerce un efecto indirecto y adverso sobre la salud. Además el conocimiento del pH reviste una real importancia en un sistema de abastecimiento de agua, ya que influye en los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión. (18)

Los métodos utilizados para la medición del pH son el colorimétrico y el electrométrico.

El método colorimétrico se basa en el cambio de estructura química de los indicadores, producido por la influencia de la concentración de iones hidronio y esto se manifiesta en el cambio característico de color del indicador a un pH o intervalo

determinado de pH. El inconveniente que tiene es de no obtener valores exactos debido a las interferencias que se presentan, como son el color y la turbiedad del agua.

El método electrométrico determina la actividad de los iones hidronio por mediciones potenciométricas usando un electrodo de vidrio y uno de referencia. La diferencia de potencial entre los dos electrodos varía en función de las concentraciones del ion hidronio; el pH es determinado en una escala potenciométrica que relaciona la fuerza electromotriz de la muestra, el pH de la solución amortiguadora y la temperatura entre otros factores, con el pH de la muestra.

El electrodo es relativamente libre de interferencias como color, turbiedad, materia coloidal, oxidantes, reductores o alta salinidad, excepto para sodio a un  $\text{pH} > 10$ . Las grasas y aceites interfieren en la respuesta de los electrodos, por lo que se recomienda lavarlos con agua jabonosa y posteriormente con una solución de ácido clorhídrico 1:9 (24, 2).

#### d) Oxígeno disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales depende de la actividad física, química y bioquímica en los cuerpos de agua. Además el oxígeno disuelto es vital para medir las condiciones de aerobiosis en el agua natural, en aguas residuales y en los procesos de tratamiento del agua.

El efecto más importante del oxígeno disuelto en el agua se ejerce en las reacciones de oxidación-reducción, en las que participan el hierro, el manganeso, el cobre y compuestos que contienen nitrógeno y azufre.

Con frecuencia, el descenso del nivel de oxígeno disuelto por abajo de aproximadamente el 80% de saturación da lugar a una mayor incidencia de quejas por parte de los consumidores, especialmente en relación al sabor, el olor y el color del agua.

La disminución del oxígeno en el agua potable esta generalmente relacionada con otros problemas. Bajo condiciones anaeróbicas, se produce la reducción microbiana de nitrato a nitritos y también de sulfatos a sulfuros, surgiendo con estas transformaciones problemas de olor. (18)

Los métodos utilizados para la determinación de oxígeno disuelto son el yodométrico y el electrométrico:

El método yodométrico se basa en la adición de una solución de manganeso divalente en un medio básico, el manganeso es oxidado y precipitado en la forma de hidróxidos debido a la presencia del oxígeno disuelto, en la presencia de iones yoduro en un medio ácido, la oxidación del manganeso se invierte con la subsecuente liberación de yodo equivalente al contenido de oxígeno disuelto. El yodo liberado se determina con una solución valorada de tiosulfato de sodio en presencia de almidón como indicador. La determinación en campo se realiza hasta la oxidación del manganeso y posteriormente es trasladado al laboratorio. El análisis tiene una precisión de  $\pm 50 \mu\text{g/l}$ . (2, 24)

En el método pueden interferir los nitritos, el ion férrico y la materia orgánica, pero la modificación con azida de sodio elimina la interferencia causada por nitritos. Además causan interferencia los sulfuros, sulfitos y politionatos. (2, 21)

El método electrométrico, consta de un sistema de electrodos de membrana, polarográficos o galvánicos, compuestos por dos electrodos metálicos en contacto con un electrolito soporte que está separado de la solución de prueba mediante una membrana selectiva.

En el instrumento galvánico la reacción en el electrodo es espontánea, y en el instrumento polarográfico se aplica el voltaje necesario para polarizar el electrodo indicador. La corriente de

difusión es proporcional a la concentración de oxígeno molecular. El instrumento galvánico se recomienda en monitoreo de corrientes, lagos y desembocaduras.

Las películas de plástico que se usan como membrana del electrodo son permeables a una gran variedad de gases. El uso prolongado de electrodos de membrana en aguas que contengan gases como ácido sulfhídrico tienden a reducir la sensibilidad de la celda. (23, 2)

#### e) Temperatura

La temperatura es una manifestación de la energía cinética molecular. Más exactamente es el promedio de energías cinéticas. El término temperatura se utiliza para conocer el grado relativo de calentamiento o enfriamiento de un cuerpo. Es una propiedad termodinámica que influye en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua.

Es necesario tener lecturas exactas de temperaturas para poder calcular los valores de saturación de oxígeno disuelto, además para la correlación de varios parámetros en las actividades biológicas. (24)

Los instrumentos que se pueden utilizar para medir la temperatura son los siguientes:

-Termómetro. Es un instrumento que se basa en medir la dilatación o contracción que experimenta un gas o un líquido, cuando se pone en contacto con un cuerpo caliente o frío.

-Termopar. Es un instrumento que se basa en medir la diferencia de potencial producida por dos conductores diferentes cuya unión se somete a una temperatura dada.

-Termistor. Es un instrumento que depende del cambio de resistencia eléctrica, variando en función de la temperatura.

El instrumento más utilizado es el termómetro de mercurio, el cual debe protegerse con un estuche metálico, debido a que es demasiado frágil para las determinaciones en campo. (23, 2)

### 3.2.1.2 Análisis en el laboratorio

Los métodos utilizados en el laboratorio para la determinación de los parámetros, son los siguientes:

#### a) Color

El color en el agua puede deberse a la presencia de sustancias orgánicas coloreadas, por lo general húmicas; metales como el hierro y el manganeso, materiales turbios, plancton y extractos vegetales como los compuestos tánicos provenientes de la descomposición de la lignina.

El color causado por la materia suspendida se denomina "color aparente" el cual se determina sin filtración o centrifugación de la muestra. Al color ocasionado por las partículas coloidales y pseudocoloidales se le conoce como "color verdadero" y se determina después de una filtración o centrifugación de la muestra.

En general, los límites de color en el agua potable han sido tradicionalmente establecidos teniendo en cuenta condiciones estáticas. No obstante, se ha observado que cuando se abastece a los consumidores con un agua visiblemente coloreada, proceden a buscar una fuente alternativa donde el agua sea incolora, pero posiblemente no muy potable. (18)

El método utilizado para la determinación de color es el de comparación visual, el cual puede aplicarse a aguas de cuerpos receptores superficiales, estuarios, costeras y subterráneas. No se recomienda para descargas de aguas residuales. El método compara visualmente el color de la muestra contra soluciones de platino-cobalto de concentraciones conocidas, también se puede

comparar en un disco patrón; el color que produce un miligramo de platino por litro en forma de ion platinato constituye la unidad de comparación. La interferencia grave del método es la turbiedad. (2, 21, 25)

#### b) Turbiedad

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz se desvíe o se absorba en una muestra, en lugar de transmitirse en línea recta.

La turbiedad en el agua es causada por la materia suspendida finamente dividida, tal como arcilla, materia orgánica e inorgánica, compuestos coloridos solubles; plancton y otros microorganismos.

Las partículas que producen la turbiedad en el agua varían en tamaño desde dimensiones coloidales (aproximadamente 10 nm) hasta diámetros del orden de 0.1 mm

La turbiedad excesiva reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua, y por consiguiente se ve afectada la fotosíntesis que realizan los organismos fitoplanctónicos y la vegetación que se encuentra dentro del cuerpo del agua.



Una turbiedad excesiva puede proteger a los microorganismos de los efectos de desinfección, estimular el crecimiento de bacterias; y por lo tanto, ejercer una significativa demanda de cloro. (2, 21)

La unidad patrón de turbiedad fue definida como la obstrucción óptica de la luz causada por una parte por millón de sílice insoluble en agua destilada. Aunque existe otra unidad que es la de Jackson, la unidad turbidimétrica de Jackson es una medida utilizada en aparatos especiales.

El método del turbidímetro de Jackson para la determinación de turbiedad se basa en medir la obstrucción de la luz que pasa a través de una muestra de agua contenida en una columna y que es suficiente para obstruir la imagen de una bujía estándar encendida que se observa a través de ésta. El método tiene un límite bajo de 25 unidades de turbiedad, y éste es utilizado para la calibración de los diferentes instrumentos que miden turbiedad.

En el método se pueden obtener resultados falsos por cristalería sucia, presencia de burbujas y por efectos de vibración. (2, 25, 21)

c) Conductividad

Ver sección 2.2.1.1 a)

d) Potencial de hidrógeno

Ver sección 2.2.1.1 b)

e) Acidez y Alcalinidad

Acidez.- La acidez del agua se debe a ácidos minerales, ácidos débiles como el ácido carbónico y sales de ácidos fuertes y bases débiles.

Alcalinidad.- La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos y se debe principalmente a la presencia de sales de ácidos débiles, contribuyendo también las bases débiles y fuertes.

Se dispone de dos métodos para la determinación del grado de acidez y alcalinidad de una muestra de agua, el método volumétrico y el potenciométrico. Ambos métodos para la determinación de la acidez o alcalinidad presente en el agua, se realizan por medio de una titulación usando una solución valorada de un álcali o ácido según sea el caso.

El método volumétrico se basa en una titulación colorimétrica utilizando indicadores ácido-base, la determinación consiste en adicionar con exactitud el volumen necesario de una solución valorada ácida o básica, para efectuar una reacción de neutralización de la muestra. Los indicadores que se utilizan son el anaranjado de metilo que vira de color a un pH de 4.5 y la fenolftaleína que vira de color a un pH de 8.3, el método sólo se recomienda para muestra incoloras. (2, 21, 25)

El método potenciométrico se basa en medir la diferencia de potencial (en forma de pH) de dos electrodos que se sumergen en la solución. Se recomienda su uso cuando las muestras son turbias o coloridas.

La alcalinidad que se debe a los iones bicarbonato, carbonato e hidróxidos, se considera en la forma siguiente:

Existe alcalinidad de carbonatos cuando la alcalinidad a la fenolftaleína no es cero; pero es menor que la alcalinidad total.

Existe alcalinidad de hidróxidos cuando la alcalinidad a la fenolftaleína es mayor que la mitad de la alcalinidad total.

Existe alcalinidad de bicarbonatos cuando la alcalinidad a la fenolftaleína es menor que la mitad de la alcalinidad total.

Los gases disueltos tales como el bióxido de carbono, ácido sulfhídrico o amonio contribuyen a la acidez o alcalinidad. Las sales minerales ocasionan interferencia en el método volumétrico, específicamente los sulfatos de hierro y aluminio. En el método potenciométrico las grasas y aceites, los sólidos suspendidos y los precipitados interfieren en la respuesta de los electrodos. (2, 21)

#### f) Dureza

La dureza del agua no es un componente específico, sino una mezcla compleja y variable de cationes y aniones. La dureza se debe principalmente a la presencia de calcio y magnesio. (18)

La dureza se clasifica en dos formas: según el ion metálico y según los aniones asociados a los iones metálicos.

a) Dureza de calcio y magnesio.- Los iones calcio y magnesio causan la mayor parte de la dureza en aguas naturales. La dureza de magnesio se puede obtener restando la dureza de calcio a la dureza total, pero éstas deben estar expresadas como carbonato de calcio.

b) La dureza carbonatada o temporal es la porción de la dureza total químicamente equivalente a la alcalinidad de carbonatos y bicarbonatos. La cantidad de dureza que no se puede remover por calentamiento se denomina dureza no carbonatada o permanente.

c) La dureza aparente es la ocasionada por el efecto del ion común, y por lo tanto presenta una acción similar a la dureza de calcio y magnesio. Por ejemplo, las aguas saladas que contienen grandes cantidades de sodio. (21, 2)

Existe cierta evidencia que indica que beber agua extremadamente dura puede dar lugar a una mayor incidencia de urolitiasis. Además se relaciona la ingestión de aguas duras con las enfermedades cardiovasculares. (18)

La determinación de la dureza total se realiza por método volumétrico, en el cual los iones calcio y magnesio forman complejos estables al adicionar una solución valorada de EDTA, en un medio alcalino ( $\text{pH} = 10$ ), utilizando el eriocromo negro T (ENT) como indicador, ya que éste indicará cuando se adicione un exceso de la solución de EDTA. Esta técnica puede ser utilizada para todo tipo de aguas.

La determinación de la dureza de calcio se realiza también por método volumétrico, en el cual cuando se adiciona EDTA a la muestra que contiene calcio y magnesio, éste se combina primero con el calcio; que se determina directamente si se incrementa el pH a 12 o 13 (para favorecer la precipitación de magnesio como hidróxido) en presencia de un indicador (murexida o eriocromo azul negro R) que se combina únicamente con el calcio. Las

diferencias principales entre la dureza de calcio y la dureza total, son el indicador y el intervalo de pH a la que se realiza la titulación.

Algunos iones metálicos como son el aluminio, boro, cadmio, cobalto, cobre, estroncio, hierro, manganeso, níquel y la materia orgánica enmascaran el vire durante el procedimiento, la interferencia se puede reducir por la adición de inhibidores. (21, 25, 2)

#### g) Cloruros

El cloro, en la forma de ion cloruro, es uno de los aniones inorgánicos de mayor concentración en el agua. El aumento de cloruros en el agua se lleva a cabo de diferentes formas, por ejemplo, el agua tiene un gran poder disolvente, y por esta propiedad disuelve los cloruros de los suelos y de las formaciones subterráneas.

El umbral de sabor para cloruro en el agua potable dependerá del catión que se le asocie, pero, por lo general, está entre 200 y 300 mg de cloruro por litro. Los niveles umbral para el sabor del cloruro de sodio, cloruro de potasio y cloruro de calcio en el agua son de 210, 310, 222 mg/l, respectivamente. Especialmente el sabor del café se ve afectado si se prepara con agua que tenga una concentración de 400 mg/l de cloruro de sodio o de 530 mg/l de cloruro de calcio. (18)

La determinación de cloruros en el agua se realiza por el método argentométrico, que se basa en la titulación de los iones cloruro con nitrato de plata en presencia de iones cromato como indicador, para la formación de cromato de plata de color rojizo, que determinará cuando se adiciona un exceso de iones plata. El método se usa para análisis de aguas relativamente claras, que contienen 0.15 a 10 mg de cloruro por litro.

En el método interfieren los bromuros, yoduros y cianuros que son determinados como cloruros. El hierro en exceso de 10 mg/l enmascara el punto final de la titulación. También pueden causar interferencia en la determinación los sulfuros, sulfitos y tiosulfatos. Los ortofosfatos en exceso de 25 mg/l pueden precipitar como fosfato de plata. (2, 21)

#### h) Cloro residual

La cloración de aguas superficiales y aguas contaminadas es para destruir o desactivar la producción microbiana. Un segundo beneficio es el de cumplir con el requerimiento de cloro en las reacciones con amonio, hierro, manganeso, sulfuro y algunas sustancias orgánicas. El cloro utilizado por las sustancias anteriores se define como "demanda de cloro" y es igual a la cantidad adicionada menos aquella que queda después de satisfacer la demanda (cloro residual), que es la que lleva el efecto de la desinfección. (2, 18)

Los agentes desinfectantes más usados son el cloro, el dióxido de carbono y el ozono, aunque en el caso del cloro el pH deberá ser menor de 8. Como las cloraminas tienen una acción biocida lenta, no se recomienda su empleo como agentes desinfectantes primarios para propósitos de tratamiento de agua, aunque pueden utilizarse para el mantenimiento de desinfección residual en sistemas de distribución donde el tiempo de contacto es más prolongado. (18)

El cloro residual suprime el crecimiento de organismos del sistema y puede proporcionar alguna protección contra la contaminación que se produzca a través de las conexiones cruzadas o fugas. La súbita desaparición del cloro residual es señal inmediata del ingreso de materia oxidable dentro del sistema o de un funcionamiento defectuoso del método de tratamiento. Si se emplea cloro como desinfectante, es conveniente mantener y examinar diariamente la concentración de cloro residual que deberá ser de 0.2 a 0.5 mg/l a lo largo de todo el sistema. (18)

El olor y el sabor de los fenoles y otros compuestos orgánicos presentes en el agua pueden ser intensificados por la cloración. Además, los compuestos cloroorgánicos son potencialmente carcinogénicos como lo es por ejemplo el cloroformo. La combinación del cloro con el amonio y las aminas causan efectos adversos a la vida acuática. (18, 2)



Para la determinación del cloro se utiliza el método yodométrico, en el cual el cloro reacciona con una solución de yoduro de potasio a un pH  $\leq$  8 (liberando yodo). El yodo liberado se determina con una solución valorada de tiosulfato de sodio, en presencia de almidón como indicador. El método se aplica a aguas naturales y tratadas para determinar concentraciones de más de 1 mg/l de cloro total. (2)

#### 1) Sólidos

Sólido se refiere a la materia que permanece como residuo después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura definida.

Las principales determinaciones están encaminadas a obtener información sobre la cantidad de sólidos totales, suspendidos, disueltos (evaluando las fracciones fijas y volátiles en cada caso) y sedimentables.

Es importante conocer los sólidos totales volátiles y fijos, debido a que nos dan una medida de la cantidad de materia orgánica, que está presente en la fracción sólida de las aguas.

Un alto contenido de sólidos en el agua puede ocasionar molestias y ser un laxante en personas no acostumbradas a su ingestión. (18)

La determinación en aguas del contenido de sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos disueltos volátiles (SDV) y sólidos disueltos fijos (SDF) se realiza por método gravimétrico, el cual se basa en la evaporación y calcinación de la muestra, con cuyos residuos se calcula el contenido de sólidos.

La temperatura a la cual se seca el residuo tiene una relación importante con los resultados, puesto que la pérdida de peso debido a la volatilización de la materia orgánica, el agua mecánicamente absorbida, el agua de cristalización y los gases de descomposición química producida por el calor, así como el peso ganado debido a la oxidación, dependen de ésta y del período de calentamiento.

La presencia de partículas, grasas y aceites, materias flotantes, precipitados o muestras no homogéneas conducen a resultados no reproducibles durante el procedimiento.

Para la determinación de sólidos sedimentables se utiliza un método volumétrico, que se basa en las propiedades que tienen los materiales sólidos de sedimentarse en niveles progresivos de acuerdo a su densidad. (2, 21, 25)

j) Oxígeno disuelto

Ver sección 2.2.1.1 d)

k) Nitrógenos

Los diferentes tipos de nitrógeno son de gran interés por la importancia que tienen en los procesos de la vida de plantas y animales, ya que el nitrógeno experimenta cambios de valencia inducidos por los organismos vivos.

El análisis de nitrógeno es una base de juicio para la determinación de la calidad sanitaria del agua. Se sabe que las aguas contaminadas tienen el poder de autopurificación en un periodo determinado de tiempo. A medida que pasa el tiempo, el nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno amoniacal y posteriormente, si se encuentra en condiciones aerobias se oxida a nitritos y nitratos.

Las aguas que contienen principalmente materia orgánica y amoníaco se considera que fueron recientemente contaminadas y por lo tanto de peligro potencial. Las que contienen nitratos se consideran que fueron contaminadas mucho tiempo antes y por lo tanto son menos dañinas a la salud pública. (21)

Generalmente, los efectos del nitrato sobre la salud son consecuencia de su rápida conversión en nitrito dentro del organismo. La formación de nitrito reviste especial importancia por dos motivos. En primer lugar, puede oxidar la hemoglobina a metahemoglobina, pigmento que es incapaz de actuar como portador de oxígeno. En segundo lugar, bajo determinadas condiciones pueden reaccionar en el cuerpo humano con aminas y amidas secundarias y terciarias para formar nitrosaminas, algunas de las cuales se consideran carcinógenas. Las concentraciones elevadas de nitratos en el agua pueden causar casos de metahemoglobinemia y muerte en infantes. (18)

La determinación de las diferentes formas del nitrógeno se realiza por los siguientes métodos:

Nitrógeno amoniacal. - Se determina por el método de destilación y valoración acidimétrica, el cual consiste en destilar el amonio de un medio alcalino y absorberlo en una solución de ácido bórico para cuantificarlo por valoración con una solución de ácido sulfúrico. El método es utilizado para concentraciones de nitrógeno amoniacal mayores de 0.05 mg/l.

En el método: la glicina, la urea, el ácido glutámico, los cianatos y la acetamida se hidrolizan muy lentamente en soluciones en reposo, pero sólo la urea y los cianatos se hidrolizan en la destilación a pH de 9.5, causando interferencias en el método. (2, 21)

Nitrógeno de nitrato. - Se determina por el método de la brucina, que se basa en hacer reaccionar al nitrato y la brucina, para producir un compuesto de color amarillo que es estimado colorimétricamente. La intensidad del color es proporcional a la concentración de los nitratos a una longitud de onda de 410 nm. El método es recomendado en un rango de 0.1 - 2 mg de nitrato por litro.

Los iones ferroso, férrico y manganeso trivalente son interferencias positivas, pero en concentraciones menores de 1 mg/l no afectan en la determinación. (2, 25)

Nitrógeno de nitrito. - La concentración de nitrito se determina por la formación de un colorante azoico de color púrpura rojizo, que se produce a un pH de 2.0 a 2.5, por copulación del ácido sulfanílico diazotado con el clorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina. La intensidad del color producido es proporcional a la concentración de los nitritos, a una longitud de onda de 543 nm. El método puede ser utilizado en un rango de 5 - 50 µg de nitrito/l.

En este método los iones de antimonio, oro, bismuto, plomo, plata, férrico, mercuríco, cloroplatinato y metavanadato interfieren, debido a que causan precipitación en las condiciones de la reacción. (2, 25)

Nitrógeno orgánico.- El método utilizado es el macro-Kjeldahl, el cual determina nitrógeno en estado trinegativo, que en presencia de ácido sulfúrico, sulfato de potasio y un catalizador como el sulfato mercúrico es convertido a sulfato de amonio. Posteriormente, durante el proceso de digestión se produce un complejo entre el mercurio y el amonio, el cual es descompuesto por el tiosulfato de sodio liberando amoniaco, este se destila de un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico. El amoniaco se determina por titulación con un ácido mineral valorado. El método es aplicable para muestras que contienen bajas concentraciones de nitrógeno orgánico, aunque también puede aplicarse a muestra con un alto contenido de materia orgánica.

El nitrógeno total se obtiene de la suma de las determinaciones del nitrógeno orgánico y amoniacal. (2, 21)

#### 1) Sulfatos

Los iones sulfatos son muy frecuentes en las aguas naturales, debido al poder de disolución que tiene el agua sobre los minerales que se encuentran en la corteza terrestre. Su concentración puede variar desde cantidades muy pequeñas hasta gramos por litro.

El sulfato disuelto se considera como un soluto permanente del agua. En ausencia de oxígeno disuelto y nitratos en el agua, los sulfatos sirven como fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas ocasionadas por las bacterias anaerobias.

El intestino humano absorbe muy poco al ion sulfato; debido a que penetra lentamente en las membranas celulares de los mamíferos y se elimina rápidamente por los riñones.

La dosis mínima letal que se ha informado del sulfato de magnesio en los mamíferos es de 200 mg/Kg de peso corporal. La dosis de 1.0 - 2.0 g tienen un efecto catártico en las personas, dando como resultado la purga del canal alimentario. (18)

Las concentraciones umbrales de sabor para la mayoría de las sales de sulfato son de: 200 - 500 mg/l para el sulfato de sodio; 250 - 900 mg/l para el sulfato de calcio y de 400 - 600 mg/l para el sulfato de magnesio. (18)

El método para la determinación de sulfatos en agua es el turbidimétrico, que se basa en precipitar el ion sulfato en un medio ácido por la adición de cloruro de bario, para formar cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme, los cuales se pueden cuantificar por medio de nefelometría o fotometría.

En el método interfieren el color y la materia suspendida. Además los sulfitos pueden oxidarse a sulfatos durante el análisis y por consecuencia obtenerse resultados altos de sulfatos. (2, 25, 21)

#### m) Fluoruros

El flúor es el más electronegativo de todos los elementos químicos, y está dotado de una reactividad química tan intensa que prácticamente no se encuentra en la naturaleza en forma libre. La mayor parte del flúor existente tanto en la industria como en la naturaleza se encuentra en forma de fluoruros.

El fluoruro que se ingiere con el agua se absorbe casi por completo; el contenido en la dieta no se absorbe de manera tan completa como el del agua, pero la absorción sigue siendo bastante alta. El fluoruro que se absorbe se distribuye rápidamente por todo el organismo. Se retiene principalmente en el esqueleto, y una pequeña proporción queda retenida en los dientes.

Cuando el fluoruro se aplica en los dientes, se reduce la solubilidad del esmalte bajo condiciones de acidez, produciendo así una protección contra la caries dental. Un exceso de fluoruro puede ocasionar fluorosis esquelética.



En dosis elevadas el fluoruro es altamente tóxico para el ser humano. Los cambios patológicos comprenden gastroenteritis hemorrágica, nefritis aguda tóxica y diversos grados de lesión al hígado y al músculo cardíaco, pero en dosis relativamente pequeñas mejora los índices de fertilidad y crecimiento de algunas especies animales.

Los efectos crónicos en el hombre como resultado de una exposición intensa al fluoruro, están relacionados principalmente, con el moteado de los dientes y la fluorosis, en la que la estructura ósea se ve afectada a veces hasta un grado muy alarmante, produciendo casos graves de invalidez. Así mismo se han observado efectos crónicos en los riñones. (18)

La determinación de fluoruros en aguas se realiza por el método de la sal trisódica del ácido 4,5-dioxi-3-(p-sulfofenilazo)-2,7-naftalensulfónico (SPADNS), el cual se basa en hacer reaccionar a los fluoruros con el circonio que se encuentra formando un complejo con el SPADNS, para formar un compuesto más estable entre el circonio y el fluoruro, dando como resultado una disminución en la intensidad del color, la cual es proporcional a la cantidad de fluoruros a una longitud de onda de 570 nm; es decir, a mayores concentraciones de fluoruros mayor disminución en la intensidad del color.

En el método pueden interferir la alcalinidad, el color, la turbiedad y algunos iones como son el aluminio, cloruros, hierro, fosfatos y sulfatos. (2, 25, 21)

#### n) Demanda bioquímica de oxígeno

La prueba de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una determinación empírica en un proceso de laboratorio, ya que determina la cantidad de oxígeno requerido por la muestra de agua, para oxidar el contenido de materia orgánica, por medio de una población microbiana heterogénea; más el oxígeno usado para oxidar material inorgánico tales como los iones sulfuro y ferroso. Esta prueba es un procedimiento de bioensayos que consiste en medir el oxígeno consumido por los microorganismos al utilizar como fuente de carbono a la materia orgánica presente en el agua, en condiciones muy similares a las naturales.

Entre más grande sea la carga orgánica desechada en un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto, existirá una baja en el oxígeno disuelto, creando condiciones que van en detrimento de la vida acuática. En ciertos casos provoca la completa extinción del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, dando como resultado la extinción de peces y otras formas acuáticas. (2, 21)

La DBO se utiliza como un control de la efectividad del tratamiento de las aguas residuales. En los desechos de la industria cervecera, textil, papelera, emparadoras e ingenios azucareros se observan valores altos de DBO.

La determinación de DBO consiste en colocar un volumen de muestra en un frasco Winkler y llenarlo con agua de dilución, cerrar herméticamente e incubar el frasco bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo (20°C y 5 días). El oxígeno disuelto es medido inicialmente y después de la incubación. La DBO es calculada de la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto final. (2)

#### n) Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO), es utilizada como una medición de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica usando un agente químico bajo condiciones específicas de temperatura y acidez.

Una de las principales limitantes de la prueba de la DQO es que oxida la materia orgánica de la muestra sin importar su degradabilidad biológica.

La determinación de la DQO en agua, se realiza por método volumétrico de oxido-reducción. El método se basa en una oxidación enérgica de la materia orgánica e inorgánica oxidable

en medio ácido, utilizando una solución de dicromato de potasio valorada. El exceso del agente oxidante se determina con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal, en presencia de un indicador (1,10-ortofenantrolina).

En el método pueden interferir los iones ferrosos, sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, nitratos y cloruros (este es el principal problema) ya que éstos son oxidados y por consiguiente crean una DQO inorgánica. (2, 25)

#### o) Fósforo

El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales en la forma de fosfatos, los cuales son clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos. Los fosfatos se encuentran en solución, en partículas o en los cuerpos de los organismos acuáticos.

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de los organismos y puede ser un nutriente limitante en la productividad primaria de un cuerpo de agua.

La determinación de fósforo consiste en dos procedimientos generales: a) Conversión del fósforo de interés a ortofosfato disuelto, y b) Determinación del ortofosfato disuelto por un método colorimétrico.

El procedimiento utilizado para la conversión de fósforo orgánico a ortofosfato disuelto, es un proceso de digestión con persulfato de potasio en medio ácido. (21, 2)

La determinación de ortofosfato disuelto se realiza por el método colorimétrico del cloruro estanoso, en el cual se hace reaccionar a los fosfatos con molibdato de amonio en condiciones ácidas, para formar un complejo conocido como fosfomolibdato de amonio. El molibdato contenido en el fosfomolibdato de amonio se reduce fácilmente con el cloruro estanoso para producir una solución de color azul, cuya intensidad es proporcional a la cantidad de fosfato medido a una longitud de onda de 690 nm. El método es útil para análisis de fósforo en un rango de 0.01 - 6 mg/l.

En el método pueden interferir el silice y los arsenatos si la muestra es calentada. Las interferencias negativas son causadas por fluoruros, torio, bismuto, tiosulfato, tiocianato, cromo hexavalente y sulfuros. El color azul de la determinación también lo puede producir el ion ferroso, pero en concentraciones menores de 100 mg/l no afecta. (2, 25)

#### p) Boro

El boro normalmente no se encuentra en la naturaleza en su forma elemental, generalmente se encuentra en depósitos minerales como borato de sodio (bórax) o borato de calcio (calemanita).

El boro es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas superiores, ya que es un micronutriente. Sin embargo, en concentraciones mayores de 2.0 mg/l en agua de irrigación puede ser perjudicial a ciertos cultivos.

La ingestión de grandes cantidades de boro por el ser humano, puede afectar su sistema nervioso central, y el consumo prolongado causa la enfermedad conocida como borismo. (18)

Para la determinación de boro en agua se puede utilizar el método potenciométrico, el cual se basa en medir la cantidad de ácido bórico o boratos en una muestra, por medio de la neutralización y posterior adición de manitol, para formar un complejo ácido que se determina con una solución valorada de hidróxido de sodio. La concentración de boro es proporcional a la cantidad de hidróxido de sodio necesario para neutralizar, después de la adición del manitol.

En este método, la interferencia ocasionada por el vanadio tetravalente y el germanio dan resultados bajos; los carbonatos, fosfatos y el amonio disminuyen la precisión del vire obtenida por el indicador ácido-base. Las grasas y aceites, sólidos suspendidos y los precipitados interfieren en la respuesta de los electrodos (vidrio y calomel). (2, 25)

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

q) Substancia activas al azul de metileno

Los detergentes son substancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran disueltos, de modo que éste adquiere mayor poder de penetración, y a la vez se extiende más fácilmente en la superficie de los cuerpos en que se aplica.

Los detergentes contienen de 20 a 30% de substancia activa, llamada surfactante o agente tensoactivo y de 70 a 80% de aditivos que sirven para aumentar las propiedades de los detergentes.

El surfactante presenta una cadena polar alifática, que es hidrofílica y una aromática que es hidrofóbica. A estas propiedades se debe que el detergente sea humectante, dispersante y emulsificante.

La determinación de los detergentes aniónicos se realiza por el método del azul de metileno, que se basa en hacer reaccionar a el azul de metileno con los detergentes, para la formación de una sal de color azul, la cual es soluble en cloroformo. La intensidad de color producido por la sal es proporcional a la concentración de los detergentes a una longitud de onda de 652 nm. Las substancias que se designan como activas al azul de metileno son el sulfonato de aquilbenceno (ABS), sulfonato de alquilo y sulfonatos de polietoxi alquílicos.

Las interferencias positivas en el método las provoca la presencia de sulfato orgánico, los sulfonatos, los carboxilatos, los fenoles, los cianatos, los cloruros, los nitratos y los tiocianatos. La interferencia negativa la ocasionan los compuestos orgánicos, especialmente las aminas. (21, 25, 2)

#### r) Fenoles

Los fenoles son definidos como derivados hidroxilo de benceno y un núcleo condensado. El término fenoles incluye una mezcla de derivados del fenol como: fenoles orto, meta y para sustituidos por halógenos o por un grupo alquílico, aldehído, arílico, nitro, fenilo, nitroso y del ácido sulfónico.

Los fenoles clorados están presentes en el agua, ya sea como resultado de la contaminación de las fuentes de agua natural o de la cloración del agua que contiene compuestos fenólicos.

Es importante el control de fenoles en los cuerpos de agua, debido a su acción tóxica sobre los peces y otros organismos acuáticos, además del sabor desagradable que imparten a la carne de pescado. (18)

El método para la determinación de fenoles es el de la 4-aminoantipirina con extracción con cloroformo, éste es utilizado en muestras que contengan menos de un mg/l de fenol y se aplica a aguas de origen residual y natural. El método



consiste en hacer reaccionar a los fenoles purificados (destilación previa) con la 4-aminantipirina a un pH de  $7.9 \pm 0.1$ , en presencia de ferricianuro de potasio, para formar una anilina de antipirina colorida; la cual se extrae con cloroformo de la solución acuosa y su absorbancia es medida a 460 nm de longitud de onda. La intensidad del color de la anilina es proporcional a la concentración de los fenoles.

Algunas bacterias degradan el fenol, y por consiguiente se obtienen resultados bajos. El método sólo determina los fenoles orto y meta sustituidos. (2, 21)

#### s) Grasas y Aceites

El término grasas y aceites se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales, como son baja solubilidad en agua y tendencia a formar una película muy fina en la superficie de la misma.

Las grasas y aceites se producen como contaminantes en cantidades considerables en refinarias de petróleo, industrias petroquímicas, empacadoras de carne, procesadoras de leche y en las operaciones de carga y descarga de los barcos petroleros.

La película de grasas y aceites en la superficie del agua interfiere en la transferencia de oxígeno atmosférico, lo que es indeseable tanto para la autopurificación de los cuerpos naturales de agua, como en los sistemas de tratamiento biológico. (21)

La determinación de grasas y aceites en aguas, se realiza por el método de extracción en un equipo Soxhlet, el cual consiste en extraer las grasas y aceites con hexano o triclorotrifluoroetano durante un lapso de cuatro horas, con posterior evaporación del disolvente, pesar el residuo remanente que determinará el contenido de grasas y aceites de la muestra.

El método Soxhlet se emplea cuando existen en la muestra fracciones de petróleo relativamente polares, o cuando los niveles de grasas no volátiles pueden afectar el límite de solubilidad del disolvente. (2, 25)

t) Metales

#### Cromo hexavalente.

El cromo puede existir en los abastecimientos de agua, tanto en estado hexavalente como trivalente, aunque la forma hexavalente se encuentra en mayor proporción en los abastecimientos de agua potable.

El cromo que se encuentra en estado natural se presenta en forma muy insoluble; sin embargo, la acción del clima, la oxidación y la acción bacteriana pueden convertirlo en una forma ligeramente más soluble.

El cromo en el humano se absorbe a través del tracto digestivo y respiratorio. El cromo trivalente es una forma esencial para los organismos. El cromo hexavalente es un tóxico potente para el hombre, peces y vegetales.

El cromo se distribuye en los tejidos humanos en concentraciones bajas y variables. Los depósitos mayores de cromo se encuentran en piel, los músculos y la grasa. Parece ser que el cromo es necesario para la glucosa y el metabolismo de los lípidos y para la utilización de los aminoácidos en diversos sistemas. Parece que también es importante en la prevención de casos leves de diabetes y arterosclerosis en las personas. Los efectos dañinos del contenido de cromo en el agua para el hombre, se relaciona con la forma hexavalente, que producirá casos de necrosis hepática, nefritis y muerte en algunos casos. (18)

La determinación de cromo hexavalente en el agua se realiza por el método colorimétrico de la difenilcarbazida, el cual se basa en hacer reaccionar a el cromo hexavalente con la difenilcarbazida en un medio ácido, para formar un complejo de composición desconocida, el color del complejo (violeta) medido a una longitud de onda de 540 nm es proporcional a la concentración de cromo hexavalente en la muestra.

En el método del molibdeno hexavalente, las sales de mercurio, hierro, cobre y el vanadio, causan interferencias positivas. (2, 21)

#### Determinación de metales por absorción atómica.

Los efectos de metales en agua potable y aguas residuales van de un rango de beneficio a tóxico peligroso. Algunos metales son esenciales, mientras que otros pueden tener efectos adversos a los consumidores, así como en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas depositadas. (2)

Los metales pueden ser determinados satisfactoriamente por absorción atómica o métodos colorimétricos. Los métodos de absorción incluyen técnicas de flama, electrotérmicos y vaporización química. El método de flama generalmente es aplicable a concentraciones bajas en sistemas puros y matrices-complejas. El método electrotérmico generalmente puede incrementar sensibilidad en el caso de efecto matrix. Los métodos colorimétricos son aplicables cuando son conocidas las interferencias dentro de la capacidad del método en particular. El tratamiento preliminar de las muestras frecuentemente es requerido. (2)

Metales disueltos. Es el constituyente (metálico) de una muestra no acidificada pasada a través de una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$ .

Metales suspendidos. Son los constituyentes (metálicos) de una muestra no acidificada que son retenidos por una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$ .

Metales totales. Es la concentración de metales determinados sobre una muestra no filtrada después de una vigorosa digestión, o de la suma de la concentración de metales en las fracciones de disueltos y suspendidos.

Metales ácido-extractables. Es la concentración de metales en solución después de tratamiento de una muestra no filtrada con ácido mineral diluido, en caliente.

En el muestreo para metales, antes de coleccionar la muestra se debe decidir que fracción se va analizar (disuelto, suspendido, total o ácido-extractable). La decisión determina en parte si se da o no tratamiento químico a la muestra. (2)

Los requerimientos para la determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica varían con el metal y la concentración de éste en la muestra a ser determinada, los métodos para la determinación de metales son:

A. Determinación de bismuto, cadmio, calcio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, litio, magnesio, manganeso, níquel, potasio, plata, sodio y zinc por aspiración directa dentro de una flama de aire-acetileno.

B. Determinación de concentraciones bajas de cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, níquel, plata y zinc por quelación con pirrolidina ditiocarbamato de amonio (APDC), extracción con metilisobutilcetona (MIBK) y aspiración dentro de una flama de aire-acetileno.

C. Determinación de aluminio, bario, berilio, molibdeno y sílice por aspiración directa dentro de una flama de óxido nitroso-acetileno.

D. Determinación de concentraciones bajas de aluminio y berilio por quelación con 8-hidroxiquinolina, extracción con metilisobutilcetona (MIBK) y aspiración en una flama de óxido nitroso-acetileno.

E. Determinación de arsénico y selenio por conversión a sus hidruros y aspiración en una flama de argón-hidrógeno o nitrógeno-hidrógeno.

F. Determinación de mercurio por la técnica de vapor frío.

H. Determinación de microcantidades de aluminio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, plata y estaño por espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica.

La espectrofotometría de absorción atómica es similar a la fotometría de emisión de flama, ya que en ambas la muestra es atomizada y aspirada dentro de una flama.

La principal diferencia entre la fotometría de flama y la espectrofotometría de absorción atómica; es que en la primera se mide la cantidad de luz emitida por el elemento y en la segunda se mide la cantidad de luz absorbida por el elemento.

Para varios metales se dificulta un análisis por emisión de flama, la absorción atómica exhibe una superior sensibilidad porque cada metal tiene su propia característica de absorción a una longitud de onda, en donde se usa una lámpara original compuesta del elemento; ésta marca la libre relatividad del método desde espectral o interferencia de radiación. La cantidad de energía de la longitud de onda característica absorbida en la flama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra. La emisión de flama produce buenos resultados para análisis de litio, sodio, potasio y estroncio. (2)

Varios metales pueden ser determinados por aspiración directa de la muestra en una flama de aire-acetileno. La más importante de las interferencias en término químico es la formación de compuestos refractarios, porque puede ocurrir que en la flama no sea disociada la molécula. La interferencia de fosfato en la determinación de calcio puede ser eliminada por adición de lantano. Similarmente, la introducción de calcio elimina la interferencia de sílice en la determinación de manganeso. No

obstante que el silice y metales tales como aluminio, bario, berilio y vanadio requieren de altas temperaturas, la flama de óxido nitroso-acetileno disocia a estas moléculas. (2)

### 3.2.2 Microbiológicos

Los estudios bacteriológicos del agua sirven para determinar focos de organismos de importancia para la salud pública, así como establecer procedimientos que permitan descubrirlos, identificarlos y destruirlos. En general, la microbiología del agua estudia además de estos aspectos, los concernientes a la flora microbiana natural de lagos, ríos, pantanos y mares. (18)

La contaminación fecal del agua potable puede incorporar una variedad de diversos organismos patógenos intestinales - bacterianos, virales y parásitos cuya presencia está relacionada con enfermedades. Los agentes etiológicos que se han detectado en el agua contaminada incluyen: Salmonella, Shigella, Escherichia Coli Enteropatógena, Vibrio Cholerae, Yersinia Enterocolitica y Campylobacter Fetus. Estos organismos pueden ser causantes de enfermedades cuyo índice de gravedad van desde una ligera gastroenteritis hasta casos graves y fatales a causa de disentería, cólera y tifoidea. Otros organismos, cuya presencia en el ambiente es natural y a los que se considera patógenos, también pueden producir, en ocasiones enfermedades de tipo "oportunista". (18)



La detección en el agua de los organismos que normalmente están presentes en las heces de los humanos y de los animales de sangre caliente son indicadores de contaminación por excretas; así como indicadores de la eficiencia de los sistemas de tratamiento del agua y de desinfección.

El uso de organismos intestinales de la flora normal como indicadores de contaminación fecal en lugar de los organismos patógenos, es un principio en los sistemas de abastecimiento de agua. Los organismos indicadores abundarán en los excrementos, pero estarán ausentes, o existirán en números reducidos en otras fuentes; serán fáciles de aislar, identificar, enumerar y deberán ser incapaces de desarrollarse en el agua. (18, 2)

Entre los microorganismos que se usan como indicadores bacterianos de contaminación fecal, está todo el grupo de bacterias coliformes: la E. Coli y los organismos coliformes que se han descrito como coliformes fecales, Estreptococos fecales y Clostridium reductores de sulfito (C. Perfringens).

#### 3.2.2.1 Coliformes

El término Coliformes totales se aplica a todo bacilo gram negativo, aerobio y anaerobio facultativo, no esporulado, capaz de desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes (tensoactivos) que tengan propiedades similares inhibitorias del crecimiento, y que sean capaces de fermentar la lactosa a una

temperatura de 35 o 37 °C con producción de ácido, gas y aldehído en un lapso de 24 a 48 hrs. Aquéllas que poseen las mismas propiedades a una temperatura de 44 o 44.5 °C se conocen como bacterias coliformes termotolerantes. Estas últimas cuando fermentan tanto la lactosa como otros sustratos como el manitol a temperatura de 44 o 44.5 °C, con producción de ácido, gas y que también forman indol a partir del triptófano, se consideran como E. Coli presuntiva. Se puede confirmar mediante la demostración del resultado positivo en la prueba del rojo de metilo, al no producir acetilmetilcarbinol y no utilizar el citrato como única fuente de carbono. (18, 2)

Se utilizan dos métodos básicos para detectar y enumerar los organismos coliformes en el agua: el método de tubos múltiples y el método de membranas filtrantes. Ninguno de los dos proporciona resultados estrictamente comparables; una de las razones es que los recuentos que se practican en los filtros de membrana no indican la producción de gas que se produce por la fermentación de la lactosa. (18, 2)

Los resultados de los exámenes de tubos múltiples y dilución son reportados en términos de número más probable (NMP). El término es actualmente basado en una estimación sobre ciertas fórmulas de probabilidad. La exactitud de la determinación depende del número de tubos usados. El valor numérico de la estimación del contenido de bacterias es determinada por la dilución en donde se manifiesten resultados positivos (producción de gas y acidez) y negativos. (18, 2)

a) Método de tubos múltiples.

Se considera que la prueba inicial es presuntiva debido a que la reacción de ácido y gas que se observa a menudo puede deberse a algún otro organismo o combinación de organismos. La presunción o el supuesto de que son los organismos coliformes los causantes de dicha reacción se confirmará mediante pruebas adicionales utilizando medios capaces de alcanzar mayor confirmación y diferenciación. La proporción de reacciones falsas y positivas dependerá tanto de la flora bacteriana presente en el agua sometida a examen, como del medio que se emplee. (18)

Los volúmenes de muestras que se usen en las pruebas con medios líquidos dependerán del contenido bacteriano que se sospeche contiene el agua por analizar. Con agua de buena calidad, bastará emplear un volumen de 50 ml y cinco de 10 ml. Si el agua es de calidad dudosa o desconocida, deberán usarse: uno de 50 ml, cinco de 10 ml y cinco de 1 ml. (18)

En la realización de la prueba coliforme presuntiva pueden utilizarse cuatro medios de cultivo diferentes: el medio de glutamato modificado y minerales (MOMM), el caldo de lauril triptosa (CTL), el caldo MacConkey y el caldo de lactosa. El MOMM es un medio químico definido con nutrientes limitados que pueden ser utilizados por los organismos coliformes. El criterio para seleccionar el caldo MacConkey o el CTL dependerá, respectivamente de la presencia de sales biliares y del agente tensoactivo (sulfato de laurilo), el caldo de lactosa no es un

medio selectivo. Después de la inoculación, los tubos del medio seleccionado se incuban a temperatura de 35-37 °C y se revisan a las 24 ± 2 horas y 48 ± 3 horas para observar la reacción positiva adecuada. El gas y el ácido producidos por la fermentación de la lactosa se detecta por medio de un tubo de Durham; en el MGMM, en el caldo MacConkey y el caldo lactosado además contienen un indicador de pH para comprobar la acidez. La presencia de organismos esporulados puede dar origen a reacciones falsas positivas, que generalmente se eliminan en el transcurso de las pruebas confirmativas subsecuentes. (18, 2)

Los tubos que muestran reacción presuntiva positiva a las 24 y 48 horas se subcultivan directamente a las mismas condiciones en tubos con medios selectivos que contengan lactosa, como es el caldo de bilis verde brillante (CBV). La producción de gas confirmará la presencia de bacterias coliformes en la prueba presuntiva original. Tomando como referencia los cuadros de NMP, se podrá obtener un cálculo del contenido de coliformes confirmados en 100 ml de la muestra. (18, 2)

Con objeto de confirmar la presencia de bacterias coliformes fecales, deberán realizarse subcultivos a partir de los tubos con reacciones presuntivas positivas, empleando tubos que contengan medios como el CBV o el caldo de Escherichia Coli (EC), que contiene sales biliares, y además deberán incubarse a 44 ± 0.25 °C durante 24 ± 2 horas. La producción de gas confirmará la presencia de bacterias coliformes fecales en los tubos, así podrá obtenerse un valor confirmativo del NMP. Por otra parte, es

posible obtener el No. de E. Coli presuntiva inoculando tubos con agua de triptona y verificando la formación de indol luego de transcurridas  $24 \pm 2$  horas a una temperatura de  $44^{\circ}\text{C}$ . Si el resultado es positivo, se confirma la presencia de E. Coli aplicando pruebas bioquímicas de diferenciación. (18, 2)

La técnica de la fermentación en tubos múltiples es aplicable a el análisis de aguas salada y potable, así como también fangos, sedimentos o lodos. Siguiendo las debidas precauciones, seleccionando las alícuotas adecuadas y número de tubos por dilución. (2)

b) Técnica de la membrana filtrante.

El No. de organismos coliformes presentes en el agua puede también determinarse mediante la filtración de volúmenes específicos de la muestra a través de filtros de membrana. Después se incuba la membrana en un medio selectivo y en ella se desarrollarán colonias características que producen ácido o aldehído, y son las que se contarán ya sea como coliformes presuntivos o bacterias coliformes fecales, según la temperatura de incubación. Los resultados se expresan en términos del No. de organismos por 100 ml de muestra. (18, 2)

En la técnica de la membrana filtrante el grupo coliforme puede ser distinguido como los microorganismos de forma bacilar, aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos, no esporulados que producen una colonia oscura con brillo metálico a las 24 hrs. a una temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  en un medio tipo ENDO

que contiene lactosa. Esta técnica es altamente reproducible, además que puede usar relativamente grandes volúmenes de muestra y producir resultados definitivos más rápidamente que el procedimiento de los tubos múltiples, aunque una limitación en la prueba son las aguas con alta turbiedad y bacterias no coliformes. (18, 2)

El volumen que utiliza la técnica generalmente es de 100 ml. Sin embargo, cuando se trate de muestras contaminadas, se deberán escoger los volúmenes de tal manera que el número de colonias en la membrana esté comprendido aproximadamente entre 10 y 100. Si el volumen es menor de 10 ml, se debe diluir con un disolvente estéril.

Los medios que se pueden utilizar en la técnica son agar de lactosa tergitol (TTC) y agar ENDO. Además se puede usar el medio para bacterias coliformes (MCF) pero a una temperatura de 44 °C.

Debido a la importancia que tiene el confirmar la cantidad de E. Coli presuntiva en el agua potable, es importante llevar otras pruebas de diferenciación, como son la prueba del indol, rojo de metilo, Voges-Proskauer, citrato y oxidasa. (18, 2)

La turbiedad causada por la presencia de algas u otros materiales interferentes pueden no permitir a la prueba usar un volumen suficiente para producir un resultado significativo. La

estimación de un número bajo de coliformes puede ser causada por la presencia de un número alto de no coliformes o de sustancias tóxicas.

La técnica es usada en casos de emergencia, en el análisis de una gran variedad de aguas naturales, salinas y efluentes clorados. (18, 2)

### 3.2.2.2 Estreptococos fecales

Los estreptococos son cocos gram positivos, no esporulados, catalasa negativa, no producen gas usando como fuente de carbono el manitol y la lactosa, proliferan en presencia de 6.5% de cloruro de sodio, producen  $\beta$  hemólisis, tienen la capacidad de desarrollarse a una temperatura de 45 °C en presencia de sales biliares y de azida de sodio, son inhibidores de organismos coliformes y de la mayoría de otras bacterias gram negativas. Son resistentes a estreptomina, penicilina, telurito de potasio y sulfonamidas. (18, 2)

Los estreptococos fecales pertenecen al grupo serológico D y Q (Lancefield), que incluyen los *S. faecalis* y sus variedades, *S. faecium*, *S. durans*, *S. bovis*, *S. equinus* y *S. avium*. (18)

Para la detección presuntiva de este grupo de organismos, puede recurrirse tanto al método de tubos múltiples como al de filtración con membrana.

a) Método de tubos múltiples.

Se adiciona un volumen de agua a tubos que contienen caldo de glucosa (dextrosa)- azida y se incuban a 35 o 37 °C durante 48 horas, prolongándose la incubación por 72 horas. Los tubos que indiquen producción de ácido y turbiedad o sedimento, se consideran que contienen estreptococos fecales presuntivos. (2)

Los tubos que indican reacción positiva deberán confirmarse, mediante la inoculación en caldo etílico de violeta azida e incubarse a 35 °C durante 48 horas. Los tubos que indiquen una reacción positiva confirmada exhibirán un sedimento azul violáceo y presencia de turbiedad. El No. de estreptococos fecales presuntivos y confirmados en 100 ml de la muestra, se calcula se acuerdo al NMP. (18, 2)

b) Técnica de la membrana filtrante.

Para esta técnica se pueden usar los medios de KF y el agar m-Enterococo (Slanetz y Bartley), ambos conteniendo azida pero con distinto contenido de carbohidratos.

Cuando se usa el agar m-Enterococo, la selectividad está ligada a la temperatura de incubación, pero el más utilizado es el medio de KF. Los dos medios de cultivo son muy selectivos, en ellos las colonias de estreptococos fecales son de color rojo. Si se considera necesario, las pruebas confirmativas deberán



demostrarse, con el crecimiento de bacterias en presencia de 40% de bilis a una temperatura de 44 °C y con una reacción negativa de catalasa.

La densidad de los estreptococos fecales deberá expresarse en No. de colonias por 100 ml de muestra. (18, 2)

#### 4 RESULTADOS ANALITICOS

El análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas, permite conocer las condiciones cualitativas y cuantitativas de las aguas, así como también el grado de contaminación de ésta.

Para la generación de resultados en el laboratorio, se utilizaron los métodos que marcan las Normas Oficiales Mexicanas de Análisis para Aguas, y el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater en su décima sexta edición.

Los métodos analíticos incluyen determinaciones: volumétricas, colorimétricas, gravimétricas, análisis de metales por absorción atómica y las determinaciones de coliformes y estreptococos.

Las determinaciones analíticas, fueron realizadas en el laboratorio del Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua (CIECCA), de la Subcoordinación de Calidad del Agua, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

La toma de muestras para análisis fisicoquímicos fue realizada por el método manual, obteniendo muestras puntuales o simples.

Las muestras de grasas y aceites fueron tomadas directamente en la superficie del agua, con frascos de vidrio de boca ancha, y se preservaron con ácido sulfúrico concentrado hasta un  $\text{pH} < 2$ .

La toma de muestras para análisis bacteriológicos se realizó en frascos estériles de 125 ml con tapón esmerilado, preservándose a 4°C y en la oscuridad.

En el caso de metales la toma fue simple y se realizó en frascos de polietileno de un litro, preservándose las muestras con ácido nítrico concentrado hasta un pH < 2.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se presentan en forma detallada en las siguientes páginas, fueron realizados durante el año de 1988 a tres diferentes redes de monitoreo: la de Xochimilco, D.F.; la del Río Tula, Hgo. y la del Valle de México. Además, en los cuadros 2, 3 y 4 se presentan los promedios de los resultados de cada estación a los cuales se les aplicara el índice de calidad, para determinar el uso más adecuado al que se debe destinar el agua de cada estación de muestreo.

REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA  
 MICHMILCO, D.F.  
 RED DE MONITOREO NO. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQO CLORUROS		N. NH3 N ORO		N. TOTAL	N. NO3		ALC TOT.	DUREZA		DUREZA DE SULFATOS	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	TOTAL	CALCIO
1.- E. Caltongo	8.1	4.6	13	95	54.00	0.33	3.54	3.87	0.008	0.022	320.00	346.00	0.00	64.00	
1.- E. Caltongo	8.3	4.1	20	105	47.00	0.29	4.30	6.58	0.097	0.024	292.00	286.00	0.00	96.00	
1.- E. Caltongo	8.1	5.7	22	95	56.00	0.05	4.08	4.13	0.160	0.017	374.00	319.00	0.00	98.00	
1.- E. Caltongo	7.9	4.0	22	100	23.53	1.46	4.31	0.57	0.000	0.012	323.00	0.00	0.00	68.00	
1.- E. Caltongo	8.4	11.9	18	145	54.96	-0.05	3.58	0.00	-0.001	-0.001	339.10	305.00	138.00	129.00	
1.- E. Caltongo	8.1	5.5	12	71	65.37	0.89	3.52	4.41	0.320	0.110	341.00	351.00	221.00	107.50	
1.- E. Caltongo	8.3	3.8	12	76	34.16	-0.05	5.04	0.00	0.170	0.033	264.70	275.00	192.00	62.60	
1.- E. Caltongo	7.8	2.6	12	75	45.80	1.68	2.74	4.42	3.200	0.221	218.80	256.00	220.16	125.50	
1.- E. Caltongo	7.8	1.8	6	71	53.03	0.78	2.68	3.46	0.922	0.156	306.32	338.00	264.00	135.30	
1.- E. Caltongo	8.1	3.4	7	52	48.21	0.84	2.12	2.96	0.115	0.037	279.28	0.00	0.00	139.00	

NOMBRE DE ESTACION	PO4 TOT	PO4 ORTO	BORO	F- 0 y A		ST	SFT	SUT	SST	SSF	SSU	EDT	SDF	SDU	SSE	CONDUCTIVIDAD
				mg/l	mg/l											
1.- E. Caltongo	2.92	2.22	0.440	0.00	27	819	606	213	19	2	17	587	391	196	-0.1	1035.0
1.- E. Caltongo	2.26	2.14	0.440	0.00	35	699	436	262	47	12	35	651	424	227	-0.1	1012.0
1.- E. Caltongo	2.33	2.12	0.740	0.00	8	809	448	341	25	9	16	784	459	323	0.5	0.0
1.- E. Caltongo	2.31	2.00	0.880	0.79	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1224.0
1.- E. Caltongo	2.29	1.74	0.890	0.70	74	662	440	222	38	2	26	624	438	186	-0.1	973.0
1.- E. Caltongo	3.89	2.79	0.720	0.62	14	371	219	152	30	14	16	341	205	136	0.1	907.0
1.- E. Caltongo	2.32	1.80	0.290	0.33	15	566	258	208	29	4	24	538	354	164	0.1	829.0
1.- E. Caltongo	1.23	1.10	0.390	0.34	7	474	384	290	48	8	40	626	376	251	0.1	1006.0
1.- E. Caltongo	1.43	1.16	0.150	0.76	80	645	460	185	52	7	45	593	453	140	0.1	847.4
1.- E. Caltongo	1.38	1.29	0.470	0.56	7	540	362	178	25	7	18	515	355	160	-0.1	800.7

NOMBRE DE ESTACION	SAHM	TURBIEDAD		COLOR	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA DE MUESTREO
		mg/l	SI02						
1.- E. Caltongo	2.14	0.0	0	15.00	68.00	7000	7000	16/02/88	
1.- E. Caltongo	1.05	1.0	0	30.00	109.00	0	0	/ /	
1.- E. Caltongo	0.00	0.0	0	20.00	76.00	2400	430	06/04/83	
1.- E. Caltongo	1.05	10.3	100	0.00	0.00	43000	4000	06/05/83	
1.- E. Caltongo	0.40	18.0	125	11.60	59.56	9300	4300	09/06/83	
1.- E. Caltongo	1.94	5.0	250	20.44	61.90	240000	46000	07/07/82	
1.- E. Caltongo	1.92	21.0	82	18.30	46.00	15000	4000	02/08/83	
1.- E. Caltongo	1.36	7.0	250	0.00	0.00	2300	1100	06/09/83	
1.- E. Caltongo	1.16	9.6	100	21.00	101.00	240000	240000	03/10/86	
1.- E. Caltongo	1.24	5.0	50	16.00	61.00	24000	4300	11/11/82	

RESUMEN DE MONITOREO  
EN EL MONITORIO ESTACIONARIA  
MICHICILCO, D.F.  
RED DE MONITORES No. CONTROL 6

NOMBRE DE ESTACION	PH	OD DBO 5 DQO			CLORURDS		N NH4 N ORG.		N TOTAL	N NO3		N NO2	ALC TOT	DUREZA		SULFATOS	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2.- L. Los Reyes	8.5	4.4	15	180	97.00	0.74	6.25	6.99	0.338	0.283	428.00	377.00	0.00	89.00			
2.- L. Los Reyes	8.4	5.4	11	120	68.00	0.91	4.86	5.77	0.418	0.144	280.00	256.00	0.00	65.00			
2.- L. Los Reyes	9.0	15.0	13	150	105.00	-0.05	4.76	0.00	0.311	0.083	216.00	307.00	0.00	98.00			
2.- L. Los Reyes	8.7	11.0	2	5	37.52	-0.03	5.97	0.00	0.091	-0.001	383.00	303.00	144.00	68.50			
2.- L. Los Reyes	6.9	9.8	41	253	132.10	-0.03	9.24	0.00	0.050	0.008	463.80	394.00	242.00	68.40			
2.- L. Los Reyes	8.9	11.9	21	248	142.71	0.78	11.38	12.16	0.780	0.124	529.50	462.00	292.00	152.00			
2.- L. Los Reyes	8.7	11.1	24	193	142.22	-0.05	8.89	0.00	0.020	-0.001	566.60	558.00	375.00	178.00			
2.- L. Los Reyes	8.9	10.5	22	311	149.46	0.05	13.16	13.21	2.490	0.278	822.68	532.48	481.28	201.50			
2.- L. Los Reyes	8.8	0.0	30	286	178.38	1.68	11.20	12.88	0.178	-0.001	717.66	625.00	602.00	260.00			
2.- L. Los Reyes	8.0	0.0	46	313	197.67	2.46	15.96	19.42	-0.001	-0.001	831.36	701.00	546.00	348.00			

NOMBRE DE ESTACION	PO4	TOT	PO4	GRTO	BORO	F- O y A		ST	SFT	SUT	SST	SSF	SS'	SDT	SDF	SDU	Sse	CONDUCTIVIDAD
						mg/l	mg/l											
2.- L. Los Reyes	7.17	5.04	0.770	0.00	20	869	536	333	50	0	50	319	521	263	-0.1	1435.0		
2.- L. Los Reyes	4.82	4.01	0.340	0.00	330	406	269	177	36	2	34	410	267	143	-0.1	1064.0		
2.- L. Los Reyes	6.90	4.87	0.480	0.00	13	844	614	230	35	12	23	809	602	207	0.5	0.0		
2.- L. Los Reyes	5.64	2.51	1.200	1.53	27	940	663	277	12	2	10	943	691	267	0.2	2412.0		
2.- L. Los Reyes	6.49	3.77	1.360	0.55	60	1126	736	390	120	44	76	1005	692	314	1.0	1628.0		
2.- L. Los Reyes	4.72	3.08	0.280	1.12	26	620	375	245	88	12	46	532	363	169	0.1	1391.6		
2.- L. Los Reyes	6.35	4.22	0.760	1.08	13	1342	906	436	93	2	93	1247	906	363	0.1	1960.0		
2.- L. Los Reyes	6.91	3.27	1.040	1.55	14	1356	786	370	136	16	120	1320	770	450	0.1	2160.0		
2.- L. Los Reyes	7.51	5.94	1.310	2.60	64	1590	1051	539	248	150	98	1342	901	481	0.2	1761.5		
2.- L. Los Reyes	7.34	5.68	1.150	1.86	64	2036	1263	773	474	80	394	1562	1193	379	0.3	2380.8		

NOMBRE DE ESTACION	SAAM	TURBIDEDAD	COLOR	POTASIO	ZCO10	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA DE MUESTRO
2.- L. Los Reyes	4.26	0.0	0	45.00	122.00	9000	9000	16/02/88
2.- L. Los Reyes	30.16	0.0	0	30.40	78.00	4000	4000	/ /
2.- L. Los Reyes	0.00	0.0	0	29.00	125.00	7500	4300	06/04/88
2.- L. Los Reyes	1.79	22.0	150	0.00	0.00	460000	460000	06/05/88
2.- L. Los Reyes	2.95	34.0	150	11.80	56.92	46000	2800	09/06/88
2.- L. Los Reyes	0.52	0.0	300	35.99	84.92	15000	7500	07/07/88
2.- L. Los Reyes	0.00	46.0	350	39.70	78.50	110000	46000	02/03/89
2.- L. Los Reyes	2.79	34.0	1000	0.00	0.50	7500	4300	02/09/88
2.- L. Los Reyes	2.83	17.0	200	66.00	309.00	110000	7500	07/10/88
2.- L. Los Reyes	3.02	53.0	333	53.00	252.00	300000	300000	15/11/88

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 HOCHIMILCO, D.F.  
 RED DE MONITOREO No. CONTRAL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQO CLORUROS		N NH3 N ORG		N.TOTAL	N NO3	N.NO2	ALC. TOT.	DUREZA		SULFATOS
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l					mg/l	mg/l	
3 - C. Chalco	7.5	5.3	14	40	50.00	0.67	1.40	2.07	14.362	0.048	120.00	214.00	0.00	56.00
3 - C. Chalco	7.8	2.3	6	30	40.00	0.56	1.70	2.26	2.106	0.050	134.00	195.00	0.00	56.00
3 - C. Chalco	7.8	0.0	6	60	51.00	6.77	2.38	9.15	4.421	0.073	208.00	193.00	0.00	52.00
3 - C. Chalco	7.6	5.0	15	60	25.46	7.28	3.36	10.64	1.750	0.154	192.00	153.00	81.00	51.60
3 - C. Chalco	6.7	5.5	20	55	53.03	5.99	1.96	7.95	2.420	0.252	205.70	172.00	66.00	43.40
3 - C. Chalco	7.8	5.1	10	25	52.06	0.67	2.40	3.07	14.071	0.153	164.10	204.00	152.00	79.00
3 - C. Chalco	7.4	5.3	5	20	43.40	12.88	1.28	14.16	10.620	0.063	161.90	148.00	104.00	59.40
3 - C. Chalco	7.9	2.8	8	70	84.37	0.05	2.68	2.73	9.250	0.224	288.81	322.56	314.88	199.50
3 - C. Chalco	7.8	5.3	2	20	53.03	0.11	1.64	1.75	6.640	-0.001	185.98	174.00	97.00	64.75
3 - C. Chalco	8.1	6.9	5	31	57.85	1.28	2.01	3.29	8.941	0.058	173.20	0.00	0.00	78.00

NOMBRE DE ESTACION	PO4 TOT	PO4 ORTO	BORO	F- 6 y A		ST		SFT	SUT	SST	ESF	SSU	SD <sup>-</sup>	SDF	SDV	SS+	CONDUCTIVIDAD
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l										
3 - C. Chalco	4.37	3.53	0.420	0.00	227	546	335	211	65	33	32	461	302	179	0.5		744.0
3 - C. Chalco	4.48	4.05	0.470	0.00	17	329	249	140	28	8	20	360	240	120	-0.1		701.0
3 - C. Chalco	4.63	2.85	0.540	0.00	15	534	392	142	74	50	24	460	342	118	1.5		0.0
3 - C. Chalco	4.93	3.20	0.870	1.26	19	540	421	119	12	4	8	523	417	111	0.2		1406.0
3 - C. Chalco	4.68	2.55	1.050	0.78	94	608	396	102	26	2	24	472	394	78	0.5		756.0
3 - C. Chalco	2.66	1.12	0.890	0.87	35	379	162	117	22	16	6	257	146	111	0.1		633.0
3 - C. Chalco	0.00	3.94	0.580	0.39	11	526	330	196	17	5	12	509	325	184	-0.1		761.6
3 - C. Chalco	3.88	3.79	0.720	1.13	9	892	546	346	14	3	11	878	543	335	0.1		1401.2
3 - C. Chalco	4.45	3.94	0.630	0.95	62	873	560	313	21	11	10	852	549	303	0.1		1256.8
3 - C. Chalco	4.33	4.19	0.710	0.66	22	451	326	125	6	1	5	445	325	120	0.1		675.1

NOMBRE DE ESTACION	SAWH	TURBIEDAD	COLOR	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA DE
3 - C. Chalco	2.49	0.0	0	14.30	143.00	1500000	1500000	16/02/88
3 - C. Chalco	0.61	0.0	0	15.00	62.00	4000	3000	/ /
3 - C. Chalco	0.00	0.0	0	15.00	60.00	700	300	06/04/88
3 - C. Chalco	3.94	6.0	25	0.00	0.00	30000	30000	06/05/88
3 - C. Chalco	4.26	34.0	50	11.20	56.08	1500	300	09/06/88
3 - C. Chalco	0.91	9.6	37	13.55	57.60	400	300	07/07/83
3 - C. Chalco	0.00	6.2	25	12.50	46.90	24000	24000	02/08/88
3 - C. Chalco	1.13	9.0	300	0.00	0.00	12000	2000	08/09/83
3 - C. Chalco	1.48	32.0	12	16.00	99.00	21000	15000	07/10/88
3 - C. Chalco	2.00	3.3	18	14.00	65.00	300	300	10/11/83

RE: N° 100-100-100-100-100-100  
 EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA  
 NOCHIMILCO, D. F.  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD ODO 5		ODO CLORUROS		N. NH3 N ORG		N. TOTAL	N. NO2	N. NO3	ALC. TOT.	DUREZA		DUREZA DE SULFATOS	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l					mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4 - C. Nacional	7.4	0.0	87	215	48	00	15.96	4.48	20.44	-0.001	0.004	296.00	262.00	0.00	70.00
4 - C. Nacional	7.9	0.0	59	185	33	00	17.08	6.26	23.34	0.350	-0.001	296.00	248.00	0.00	49.00
4 - C. Nacional	7.9	0.0	76	205	49	00	14.22	6.07	20.29	0.023	0.001	322.00	218.00	0.00	83.00
4 - C. Nacional	7.4	0.0	89	180	23	05	11.66	8.26	19.92	-0.189	-0.001	268.00	204.00	76.00	6.30
4 - C. Nacional	7.1	0.0	129	145	45	31	13.72	8.77	22.49	-0.001	-0.001	269.10	199.00	81.00	48.20
4 - C. Nacional	7.2	0.0	61	243	55	92	11.01	8.02	19.03	0.090	0.007	262.60	194.00	125.00	66.40
4 - C. Nacional	7.0	0.0	70	168	43	40	8.12	6.16	14.28	-0.001	-0.001	242.90	214.00	153.00	72.20
4 - C. Nacional	7.7	0.2	21	96	65	09	4.08	3.36	7.44	2.900	0.625	369.77	350.72	345.60	176.00
4 - C. Nacional	7.7	0.0	54	184	60	27	15.73	4.92	20.65	0.201	-0.001	358.83	282.00	251.00	122.00
4 - C. Nacional	7.5	0.0	119	340	57	85	11.20	10.08	21.28	-0.001	-0.001	324.75	238.00	135.00	41.00

NOMBRE DE ESTACION	PO4 TOT		PO4 ORTO		BORO		F- G y A		ST	EFT	SUT	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SOV	SSe	CONDUCTIVIDAD	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l											mg/l	mg/l
4 - C. Nacional	5.11	3.36	0.690	0.00	91	609	378	231	118	10	108	491	368	123	0.3					976.0
4 - C. Nacional	3.63	3.50	0.600	0.00	13	600	411	189	68	4	64	532	407	125	-0.1					990.0
4 - C. Nacional	3.37	2.48	0.910	0.00	46	735	517	218	72	32	40	663	485	179	0.5					0.0
4 - C. Nacional	4.05	2.42	1.120	1.04	60	593	430	168	46	4	42	552	426	126	3.5					1376.0
4 - C. Nacional	5.09	3.18	0.990	0.59	56	608	400	208	128	40	88	488	360	120	0.5					924.0
4 - C. Nacional	1.58	0.97	0.690	0.62	76	456	180	276	216	140	76	240	40	200	2.5					620.9
4 - C. Nacional	4.59	3.05	0.310	0.47	42	610	360	250	115	18	97	495	342	153	0.2					828.8
4 - C. Nacional	2.74	2.11	1.290	1.12	15	902	523	374	42	10	32	860	518	342	0.5					1320.0
4 - C. Nacional	4.67	3.32	0.820	1.10	95	934	577	357	200	171	29	734	406	328	0.2					1103.5
4 - C. Nacional	4.49	3.46	1.030	0.87	41	614	417	197	39	7	31	576	410	166	0.3					913.4

NOMBRE DE ESTACION	BAAM	TURBIEDAD		COLOR		POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA
		mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co					
4 - C. Nacional	5.32	0.0	0	17.40	67.00	.2400E+11	.2400E+11	16/02/88		
4 - C. Nacional	4.89	0.0	0	18.00	68.00	3100000000	110000000	/ /		
4 - C. Nacional	0.00	0.0	0	17.00	140.00	.1100E+11	.1100E+11	06/04/88		
4 - C. Nacional	3.96	1.0	150	0.00	0.00	.2400E+11	.2400E+11	06/05/89		
4 - C. Nacional	3.27	200.0	0	12.20	54.78	.2400E+11	.2400E+11	09/06/88		
4 - C. Nacional	5.55	42.0	166	12.66	52.17	.2400E+12	.2400E+12	07/07/83		
4 - C. Nacional	4.83	38.0	50	13.90	48.40	.2400E+13	.2400E+13	02/08/86		
4 - C. Nacional	2.75	21.0	350	0.00	0.00	120000000	60000000	08/09/89		
4 - C. Nacional	6.63	45.0	150	23.00	117.00	.2400E+13	.2400E+13	03/10/83		
4 - C. Nacional	10.59	41.0	125	17.00	76.00	240000000	110000000	10/11/83		

f01

RED DE MONITOREO No CONTROL #  
 EN EL CANTÓN GUAYAS CIFRADO-INTA  
 NOCHIMILCO, C.F.

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5			ODO CLORURDS		N NH3 N ORG.		N TOTAL		N NO3		N NO2 ALC TOT.		DUREZA TOTAL		DUREZA DE CALCIO		SULFATOS mg/l
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
5 - R. San Buenaventura	7.4	0.0	356	630	39.00	31.92	21.56	53.49	-0.001	0.006	240.00	118.00	0.00	23.00					
5 - R. San Buenaventura	7.8	0.0	198	700	37.00	39.36	22.75	61.11	0.008	-0.001	262.00	169.00	0.00	22.00					
5 - R. San Buenaventura	7.5	5.3	297	800	51.00	42.28	33.04	75.32	0.080	-0.001	236.00	237.00	0.00	42.00					
5 - R. San Buenaventura	7.6	0.0	334	550	15.22	35.56	18.76	54.32	0.112	-0.001	246.00	110.00	30.00	28.00					
5 - R. San Buenaventura	7.2	0.0	366	170	44.35	29.54	22.68	52.22	-0.001	-0.001	258.20	134.00	57.00	23.60					
5 - R. San Buenaventura	7.5	0.0	101	273	36.64	1.68	12.15	13.83	0.090	0.016	207.90	113.00	93.00	44.20					
5 - R. San Buenaventura	7.1	0.0	89	122	33.75	18.41	11.41	29.82	0.030	-0.001	216.60	134.00	73.00	34.40					
5 - R. San Buenaventura	7.6	0.0	172	322	38.57	30.14	18.76	48.90	-0.001	-0.001	231.92	89.60	84.40	47.00					
5 - R. San Buenaventura	7.3	0.0	397	694	43.39	49.46	22.02	71.48	0.210	-0.001	235.99	102.00	77.00	39.75					
5 - R. San Buenaventura	7.4	0.0	313	563	53.03	40.88	20.72	61.60	-0.001	-0.001	263.52	147.00	110.00	39.00					

NOMBRE DE ESTACION	PO4 TOT		PO4 ORTO		BORO	F- G y A		ST		SFT		SUT		SST		SSF		SSU		SDT		SDF		SDU		Sse		CONDUCTIVIDAD umhos/cm
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
5 - R. San Buenaventura	10.37	5.85	0.300	0.00	58	672	345	327	270	0	270	402	345	57	7.0												830.0	
5 - R. San Buenaventura	10.33	3.26	0.370	0.00	101	836	376	460	131	22	109	705	354	351	-0.1												1036.0	
5 - R. San Buenaventura	6.91	4.23	0.330	0.00	94	759	430	328	296	116	180	462	314	149	6.0												0.0	
5 - R. San Buenaventura	5.06	1.19	0.610	1.75	23	803	268	240	262	109	154	546	460	86	4.3												1404.0	
5 - R. San Buenaventura	5.87	3.13	0.560	0.58	165	810	354	426	460	60	400	350	324	26	7.0												836.0	
5 - R. San Buenaventura	4.54	0.85	0.100	0.72	51	236	117	119	69	23	60	168	89	79	0.3												461.3	
5 - R. San Buenaventura	6.84	4.52	0.230	0.61	27	516	236	280	174	10	146	340	226	114	1.5												700.6	
5 - R. San Buenaventura	7.37	4.35	0.230	0.73	14	616	270	346	147	16	131	469	254	215	2.3												732.7	
5 - R. San Buenaventura	10.97	3.41	0.140	1.00	105	622	317	305	169	36	133	453	281	172	1.6												893.4	
5 - R. San Buenaventura	9.85	6.06	0.960	0.82	51	697	363	334	290	50	240	407	313	94	3.3												791.2	

NOMBRE DE ESTACION	SAAM mg/l	TURBIEDAD		COLOR Pt/Co	POTASIO mg/l	SODIO mg/l	COL. TOT.		COL. FEC.		FECHA DE MUESTREO
		SI02	Pt/Co				NMP/100 ml	NMP/100 ml			
5 - R. San Buenaventura	9.73	0.0	0	18.50	93.00	2400E+14	2400E+14	16/02/88			
5 - R. San Buenaventura	6.21	0.0	0	18.00	50.00	4600E+13	1100E+12	/ /			
5 - R. San Buenaventura	0.00	0.0	0	16.30	54.00	1100E+14	2100E+13	06/04/88			
5 - R. San Buenaventura	6.70	85.0	250	0.00	0.00	2400E+14	2400E+14	06/05/88			
5 - R. San Buenaventura	6.16	450.0	500	12.60	59.56	2400E+14	2400E+14	09/06/88			
5 - R. San Buenaventura	6.43	41.0	100	14.33	35.78	2400E+14	2400E+14	07/07/88			
5 - R. San Buenaventura	8.97	48.0	200*	14.50	36.40	2400E+13	2400E+13	02/08/88			
5 - R. San Buenaventura	9.10	70.0	750	0.00	0.00	2800000000	1100000000	06/09/88			
5 - R. San Buenaventura	9.78	50.0	83	20.00	61.00	4000E+11	4000E+11	03/10/83			
5 - R. San Buenaventura	9.37	72.0	166	20.00	47.00	2400000000	2400000000	10/11/83			



RECORRIDO DE MUESTREO EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA NOCHIMILCO, D.F.  
RED DE MONITOREO No. CONTROL 4

NOMBRE DE ESTACION	pH	DO	DBO 5	DOO	CLORUROS	N NH3	N ORG.	N TOTAL	N NO3	N NO2	ALC TOT	DUREZA TOTAL	DUREZA DE CALCIO	SULFATOS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
6.- Santa Teresa	7.5	0.0	158	540	20.00	24.17	13.11	37.28	0.017	-0.001	184.00	188.00	0.00	52.00
6.- Santa Teresa	0.0	0.0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
6.- Santa Teresa	7.0	0.0	223	370	14.61	22.40	13.16	35.56	0.106	-0.001	172.00	102.00	68.00	54.50
6.- Santa Teresa	6.9	0.0	244	550	26.99	15.96	15.96	31.92	-0.001	-0.001	196.90	125.00	54.00	31.40
6.- Santa Teresa	7.4	4.1	92	182	19.28	6.38	5.99	12.37	0.150	0.005	98.50	78.00	44.00	33.80
6.- Santa Teresa	7.2	0.0	68	122	17.36	3.99	5.53	9.52	1.690	0.245	330.30	143.00	65.00	42.60
6.- Santa Teresa	7.2	7.0	27	44	3.86	0.95	1.73	2.68	0.910	-0.020	35.00	38.40	33.28	21.60
6.- Santa Teresa	6.9	5.9	30	92	10.85	6.32	2.24	8.56	0.106	-0.001	66.73	61.00	44.00	22.25

NOMBRE DE ESTACION	PO4 TOT	PO4 ORTO	BORO	F-0 y A	ST	SFT	SVT	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	SSe	CONDUCTIVIDAD	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	µmhos/cm	
6.- Santa Teresa	6.90	3.90	0.310	0.00	16	637	333	304	144	56	88	493	277	216	3.5	788.0
6.- Santa Teresa	0.00	0.00	0.000	0.00	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
6.- Santa Teresa	7.45	0.96	0.630	1.45	53	562	365	197	160	80	80	402	285	117	4.0	1224.0
6.- Santa Teresa	5.53	3.46	0.470	0.51	124	634	329	306	236	80	156	398	249	150	4.0	604.9
6.- Santa Teresa	3.56	2.19	0.210	0.35	76	159	73	85	84	68	16	74	5	69	0.5	269.9
6.- Santa Teresa	3.05	1.12	-0.010	0.63	21	42	306	146	206	96	120	246	220	26	1.7	414.4
6.- Santa Teresa	1.20	0.38	0.050	0.19	23	322	156	166	124	49	75	195	107	91	1.5	885.0
6.- Santa Teresa	2.16	0.77	0.030	0.29	69	316	167	149	111	47	64	205	120	85	1.5	787.4

NOMBRE DE ESTACION	SAAM	TURBIEDAD	COLOR	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA DE
	mg/l	SI02	Pt/Co	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	MUESTREO
6.- Santa Teresa	2.74	0.0	0	13.40	44.00	.4300E+11	4000000000	/ /
6.- Santa Teresa	0.00	0.0	0	0.00	0.00	.2100E+12	.2100E+12	06/04/88
6.- Santa Teresa	4.11	58.0	250	0.00	0.00	.2400E+13	.2400E+13	06/05/88
6.- Santa Teresa	6.77	380.0	250	11.60	61.75	.2400E+13	.2400E+13	09/06/88
6.- Santa Teresa	1.33	31.0	150	6.11	21.34	.2000E+12	.2000E+12	07/07/88
6.- Santa Teresa	3.77	36.0	150	7.70	19.40	.4300E+11	.2300E+11	02/08/93
6.- Santa Teresa	2.17	32.0	187	0.00	0.00	400000000	400000000	06/09/88
6.- Santa Teresa	4.78	18.0	0	4.00	20.00	2400000000	4000000000	03/10/93

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIEGGA-INTA  
 NOCHIMILCO, D.F.  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL 4

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD	DBD	S	ODO	CLORUROS	N NH <sub>3</sub>	N ORG.	N TOTAL	N NO <sub>3</sub>	N NO <sub>2</sub>	ALC. TOT.	DUREZA TOTAL	DUREZA CALCIO	SULFATOS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
7 - Lago Chapultepec	9.0	8.3	40	175	20.00	1.26	9.10	10.36	-0.001	0.008	130.00	166.00	0.00	9.00	
7 - Lago Chapultepec	8.4	0.0	24	185	5.00	-0.05	6.54	0.00	0.044	-0.001	152.00	186.00	0.00	19.00	
7 - Lago Chapultepec	9.5	10.0	40	220	13.16	0.84	10.09	10.92	0.077	-0.001	90.00	76.00	34.00	129.00	
7 - Lago Chapultepec	9.1	10.3	79	210	23.14	-0.05	9.31	0.00	0.080	-0.001	94.00	86.00	42.00	27.33	
7 - Lago Chapultepec	9.6	10.1	20	107	17.36	3.36	4.90	8.26	-0.001	-0.001	87.50	102.00	90.00	24.00	
7 - Lago Chapultepec	9.5	9.0	21	204	18.08	-0.05	8.56	0.00	0.231	-0.001	78.77	90.00	59.00	24.70	
7 - Lago Chapultepec	8.9	11.0	27	250	31.33	0.98	9.38	10.36	-0.001	-0.001	105.84	140.00	76.00	27.00	

NOMBRE DE ESTACION	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORO	F-	Cl	y	A	ST	SFT	SVT	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	SS%	CONDUCTIVIDAD
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	µmhos/cm
7 - Lago Chapultepec	1.37	0.44	0.130	0.00	23	439	279	160	102	14	82	336	264	72	-0.1					420.0
7 - Lago Chapultepec	0.58	0.00	0.150	0.00	21	450	270	210	156	99	67	324	191	143	0.5					454.0
7 - Lago Chapultepec	0.00	0.16	0.280	0.70	65	419	257	161	124	34	90	294	223	71	-0.1					586.0
7 - Lago Chapultepec	1.47	0.87	0.400	0.32	45	374	212	192	120	36	84	274	176	98	-0.1					610.2
7 - Lago Chapultepec	1.67	0.84	-0.010	0.22	13	324	162	162	111	39	72	215	123	90	-0.1					324.8
7 - Lago Chapultepec	1.59	0.37	0.120	0.54	38	524	176	348	135	77	59	389	99	290	0.1					466.5
7 - Lago Chapultepec	1.54	0.18	0.070	0.55	12	500	261	239	245	27	219	255	234	21	0.5					361.3

NOMBRE DE ESTACION	SAAM	TURBIEDAD	COLOR	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA
	mg/l	SI02	Pt/Co	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	MUESTREO
7 - Lago Chapultepec	0.85	0.0	0	8.30	28.00	4000	3000	16/02/88
7 - Lago Chapultepec	0.64	0.0	0	82.00	27.00	3000	3000	/ /
7 - Lago Chapultepec	0.55	96.0	250	0.00	0.00	430	90	06/05/88
7 - Lago Chapultepec	0.28	190.0	250	11.90	58.69	3000	3000	09/06/88
7 - Lago Chapultepec	0.46	36.0	50	6.30	15.00	13000	9300	02/08/88
7 - Lago Chapultepec	0.55	65.0	250	7.00	25.00	2400E+12	2400E+12	03/10/88
7 - Lago Chapultepec	0.56	75.0	250	7.00	23.00	700000	400000	10/11/88

101

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQO N.ORG.		N.N03	ALC.TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	DRTO	BORO		Sse	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l									mg/l	mg/l		
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.60	4.00	1	5	0.78	2.433	406.00	145.00	0.05	0.470	0.370	1.00	3	0.0	0			
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.30	4.00	3	25	1.23	1.483	384.00	123.12	0.08	0.260	0.000	1.57	13	0.3	1047			
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.30	8.30	3	35	1.18	6.590	420.09	131.66	0.30	0.000	0.320	1.72	71	0.0	988			
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.10	5.70	3	20	0.89	6.350	437.60	123.00	0.52	0.000	0.620	0.97	12	0.0	1066			
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.50	0.00	5	31	0.56	8.570	439.78	134.50	0.47	0.000	0.385	0.50	8	0.0	1134			
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.45	5.76	4	20	0.95	1.795	437.33	123.00	0.51	0.000	0.680	1.11	8	0.0	1020			
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan @.45	7.05	4	5	1.12	11.394	434.16	171.00	0.25	0.000	0.410	1.49	8	0.0	1019			

211

NOMBRE DE ESTACION	EDT	Cr 6+		CLORUROS		TURB		COLOR		FEN0LES		DUREZA		POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	DE MUESTREO
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	0	-0.010	150.00	4.3	12	0.002	455	0.00	211.00	430000	90000	24/03/99						
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	833	-0.010	0.00	4.6	19	0.003	384	26.00	143.00	2100000	2100000	12/06/98						
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	0	-0.010	163.92	0.0	0	0.002	0	23.44	86.90	0	150000	28/06/99						
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	0	-0.010	166.74	0.0	0	0.002	0	24.20	69.40	11000000	0	25/07/98						
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	0	-0.010	159.10	0.0	0	0.004	0	25.77	65.99	2100000	0	31/08/99						
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	0	-0.010	168.74	0.0	0	-0.001	0	31.00	191.00	700000	0	25/10/98						
1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan	0	-0.010	178.38	0.0	0	0.002	0	27.00	154.00	40000	0	14/11/98						

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL -

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DOO N.DRO.		N.NO3 ALC.TOT.	SULFATOS	SARM	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORDO y A		SSe	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l								mg/l	mg/l		
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	8.90	5.40	11	90	3.64	3.115	360.00	109.00	3.41	1.730		0.560	1.03	1	0.4	839
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	9.40	19.00	32	120	6.39	0.670	330.00	133.35	1.47	1.540		0.000	1.37	14	0.1	909
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	9.30	15.00	49	157	8.46	1.000	326.01	125.00	2.36	0.000		1.030	1.79	28	0.0	888
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	8.90	22.90	33	134	1.61	0.860	329.20	112.00	1.94	0.000		0.880	0.91	22	0.0	872
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	8.30	4.00	10	52	4.03	0.620	312.88	103.50	3.76	0.000		2.260	0.76	14	0.0	674
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	8.35	9.37	10	52	2.40	0.489	277.12	85.00	3.12	0.000		2.200	1.10	23	0.0	679
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	9.05	10.00	15	31	2.52	0.712	276.64	122.00	0.00	0.000		1.740	1.47	6	0.0	735

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr	6+	CLORUROS		TURB	COLOR	FENCLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA
				mg/l	mg/l									
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	800	-0.010		97.00	15.0	75	-0.001	305	0.00	133.00		4000		400 24/03/88
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	784	-0.010		0.00	61.0	167	0.003	212	25.00	119.00		400		300 12/05/88
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	0	-0.010		101.24	0.0	0	0.002	0	23.22	62.60		0		4000 29/06/88
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	0	-0.010		110.90	0.0	0	0.080	0	21.90	65.60		2100		0 25/07/88
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	0	-0.010		101.25	0.0	0	0.009	0	22.49	64.66		120000		0 31/08/88
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	0	-0.010		96.42	0.0	0	0.003	0	26.00	152.00		3000000		0 25/10/88
2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre	0	-0.010		106.06	0.0	0	0.003	0	22.00	119.00		30000		0 14/11/88

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL a

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD	DBO 5	DOO	N.ORG.	N.NO3	ALC.TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORO	g y A	SSe	ST
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	8.30	8.30	11	45	-0.05	0.931	380.00	130.00	1.69	5.600	2.490	1.18		1	0.4	837	
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	7.70	3.00	8	35	6.52	0.765	332.00	128.50	1.18	2.610	0.000	1.62		3	0.2	892	
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	7.70	2.40	14	51	9.69	1.310	343.79	125.50	0.29	0.000	2.340	1.54		28	0.0	794	
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	7.60	3.40	10	61	10.69	1.180	350.08	112.00	4.98	0.000	1.860	1.03		18	0.0	854	
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	8.50	0.00	5	21	5.32	2.460	308.50	103.50	2.51	0.000	2.490	0.75		9	0.0	726	
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	8.25	4.37	6	31	1.84	1.890	274.95	32.00	2.86	0.000	2.120	1.02		8	0.0	731	
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	8.35	4.40	3	5	1.06	4.747	280.08	121.00	1.77	0.000	1.850	1.44		7	0.0	653	

NOMBRE DE ESTACION	SOT	Cr 6+	CLORUROS	TURB	COLOR	FENOLAS	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA
	mg/l	mg/l	mg/l	SI02	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	DE MUESTRO
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	812	-0.010	97.00	6.0	50	0.000	339	0.00	117.00	4000	3000	24/03/89
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	876	-0.010	0.00	12.0	50	0.004	297	24.00	122.00	9000	3000	12/03/89
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	0	-0.010	96.42	0.0	0	0.004	0	21.33	91.50	0	240000	28/06/89
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	0	-0.010	113.71	0.0	0	-0.001	0	23.90	65.20	460000	0	25/07/88
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	0	-0.010	86.48	0.0	0	0.009	0	21.88	61.66	11000000	0	31/08/89
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	0	-0.010	96.42	0.0	0	-0.002	0	24.00	148.00	4000000	0	25/10/88
3.-RA1 Rio Alfajayucan Pte.Cd.	0	-0.010	101.25	0.0	0	0.005	0	19.00	119.00	300000	0	14/11/89

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	DO	DBO 5	DOO	N.O3	ALC.TOT.	SULFATOS	SARM	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORO	6 y A	Sse	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	7.60	0.00	12	185	1.62	-0.001	376.00	165.00	3.59	7.230	2.710	1.27	0	0.4	893	
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	7.20	0.00	25	85	12.91	-0.139	379.00	143.50	1.06	3.220	0.000	1.84	13	0.2	901	
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	7.40	0.00	19	81	19.32	-0.001	373.05	125.00	5.25	0.000	3.500	1.62	79	0.0	794	
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	7.30	0.00	13	81	14.11	0.080	347.89	96.50	3.46	0.000	2.370	0.89	19	0.0	772	
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	8.30	3.10	15	83	12.32	0.010	336.95	84.50	6.34	0.000	3.200	0.69	9	0.0	666	
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	8.15	0.00	12	52	6.16	-0.001	342.07	56.00	7.66	0.000	1.900	1.23	49	0.0	748	
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	7.75	0.00	12	31	13.88	-0.001	406.08	79.00	5.98	0.000	2.870	1.71	13	0.0	748	

NOMBRE DE ESTACION	SOT	Cr 6+	CLORURO6	TURB	COLOR	FENOLE6	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA
	mg/l	mg/l	mg/l	SIQ2	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	DE MUESTRO
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	862	-0.010	99.00	32.0	100	0.026	354	0.00	148.00	210000	130000	24/03/88
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	889	-0.010	0.00	18.0	50	0.028	271	26.00	146.00	11000000	11000000	12/05/88
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	0	-0.010	86.78	0.0	0	0.101	0	0.00	0.00	0	24000000	28/06/88
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	0	-0.010	91.60	0.0	0	0.004	0	21.30	63.60	46000000	0	25/07/88
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	0	-0.010	86.78	0.0	0	0.089	0	22.88	66.99	12000000	0	31/08/88
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	0	-0.010	101.24	0.0	0	0.043	0	27.00	160.00	30000000	0	25/10/88
4.-SOT S. Obr.toma Presa Endho	0	-0.010	110.89	0.0	0	0.054	0	24.00	131.00	4000000	0	14/11/88

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD		DBO 5		DQO		N. NO3	ALC. TOT.	SULFATOS	SARM	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORO		SSE	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l									mg/l	mg/l		
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	6.40	0.60	3	5	2.15	0.097	400.00	190.00	1.32	4.420	2.070	0.66	0	0.4	866				
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	7.50	0.10	27	55	9.55	0.163	390.00	560.00	3.96	1.930	0.000	1.59	12	0.2	1392				
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	7.30	0.00	98	324	16.52	0.060	225.36	75.67	4.15	0.000	1.280	1.47	78	0.0	932				
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	7.30	0.00	142	270	20.44	0.130	323.92	84.00	5.59	0.000	2.040	2.26	35	0.0	1310				
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	7.30	0.00	144	550	24.64	-0.001	255.99	91.50	9.11	0.000	1.490	1.05	11	0.0	2022				
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	6.05	0.00	91	250	25.98	-0.001	413.51	110.00	11.97	0.000	4.990	1.71	590	0.0	1037				
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	7.80	0.00	52	104	15.62	-0.001	289.44	106.00	11.60	0.000	3.250	1.17	16	0.0	650				

111

NOMBRE DE ESTACION	SOT Cr 6+ CLORUROS			TURB	COLOR	FENOLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA DE MUESTREO
	mg/l	mg/l	mg/l									
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	840	-0.010	46.00	8.9	50	-0.001	392	0.00	94.00	9000000	9000000	24/03/88
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	1374	-0.010	0.00	30.0	100	0.003	640	24.00	86.00	1100000000	1100000000	12/05/88
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	0	-0.010	57.85	0.0	0	0.021	0	0.00	0.00	0	240000000	26/06/88
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	0	-0.010	91.40	0.0	0	0.018	0	20.70	60.40	.2400E+11	0	0 25/07/88
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	0	-0.010	43.39	0.0	0	0.023	0	15.22	50.33	21000000	0	0 31/10/88
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	0	-0.010	106.07	0.0	0	0.044	0	32.00	186.00	2400000000	0	0 25/10/88
5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula	0	-0.010	47.50	0.0	0	0.006	0	18.00	78.00	.2400E+11	0	0 14/11/88

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQO N.ORG.		N.NO3 ALC.TOT.		SULFATOS		SAAM	PO4 TOT	PO4 ORTO	BORO 6 y A		SSe	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				mg/l	mg/l		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	8.40	0.00	3	5	2.77	1.543	310.00	425.00	2.87	3.890	1.890	0.95	2	0.4	1226	
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	8.10	0.00	74	110	0.70	0.741	260.00	950.00	1.05	0.770	0.000	1.99	16	0.3	2023	
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	7.20	0.00	102	344	15.12	0.090	217.70	95.66	4.22	0.000	1.140	0.86	90	0.0	992	
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	7.60	0.00	175	317	16.05	1.270	299.75	100.00	6.24	0.000	1.080	1.16	47	0.0	1254	
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	7.50	0.00	169	354	10.36	-0.001	219.80	126.50	7.08	0.000	1.180	0.97	23	0.0	1474	
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	8.05	0.00	205	540	27.16	-0.001	372.38	209.00	10.17	0.000	4.040	1.76	359	0.0	1491	
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	7.55	0.00	25	104	17.58	0.562	300.24	268.00	10.60	0.000	3.020	1.34	23	0.0	890	

111

NOMBRE DE ESTACION	SDT Cr 6+		CLORUROS		TURB COLOR		FENOLES		DUREZA	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA DE MUESTRO
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co	mg/l	mg/l						
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	1201	-0.010	87.00	12.4	50	0.776	475	0.00	203.00	1100000	1100000	24/03/88		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	2007	-0.010	0.00	38.0	75	2.524	594	40.00	245.00	2400000	2400000	12/05/88		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	0	-0.010	69.91	0.0	0	0.150	0	0.00	0.00	0	24000000	28/06/88		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	0	-0.010	91.60	0.0	0	0.039	0	29.40	73.60	46000000	0	23/07/88		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	0	-0.010	53.03	0.0	0	0.132	0	16.66	55.33	210000000	0	31/08/88		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	0	-0.010	144.64	0.0	0	0.786	0	42.00	289.00	2400E+11	0	25/10/88		
6 -DPM R. Tula Desc. Refineria	0	-0.010	81.96	0.0	0	0.202	0	22.00	131.00	2400E+13	0	14/11/88		



RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD	DBO 5	DOO	N.CRB.	N.NO3	ALC. TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	CRTO	BORO	θ y A	SS*	ST
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	mg/l
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	7.90	0.00	118	320	13.16	-0.001	478.00	188.00	3.08	14.620	4.550	1.47	47	0.5	1647		
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	8.00	0.00	94	210	12.55	0.563	292.00	313.00	3.87	2.880	0.000	1.96	11	0.3	1205		
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	7.40	0.00	170	364	15.40	0.080	387.27	265.00	4.41	0.000	3.540	2.35	81	0.0	1690		
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	7.70	0.00	122	352	17.08	0.100	347.39	185.50	0.82	0.000	2.660	1.35	52	0.0	1334		
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	8.10	0.00	93	291	18.62	-0.001	404.78	320.00	7.78	0.000	4.340	1.74	24	0.0	1610		
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	8.00	0.00	99	333	21.46	-0.001	397.53	208.00	9.07	0.000	5.310	2.01	8	0.0	1536		
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	7.90	0.00	119	438	28.37	-0.001	522.72	311.00	11.20	0.000	5.650	3.03	3	0.0	1538		

11

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr <sup>6+</sup>	CLORUROS	TURB	COLOR	FENOLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA
	mg/l	mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co	mg/l	TOTAL	mg/l	mg/l	NHP/100 ml	NHP/100 ml	DE HUESTRO
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	1224	-0.010	67.00	100	0	1000	0.132	254	0.00	211.00	2400E+15	2400E+15 24/03/99
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	1245	-0.010	0.00	32	0	100	0.035	386	20.00	179.00	2400E+15	2400E+15 12/05/98
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	0	-0.010	168.74	0.0	0	0	0.087	0	0.00	0.00	0	3000E+14 28/06/98
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	0	-0.010	110.90	0.0	0	0	0.048	0	21.10	65.20	2400E+15	0 25/07/98
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	0	-0.010	183.21	0.0	0	0	0.142	0	38.33	56.99	4600E+15	0 31/08/98
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	0	-0.010	221.77	0.0	0	0	0.170	0	51.00	305.00	2400E+17	0 25/10/98
7.-DCFE C.Endho Desc.Termoiec	0	-0.010	216.95	0.0	0	0	0.172	0	38.00	259.00	2400E+19	0 14/11/98

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQO N.ORG.		N. NO3 ALC. TOT.		SULFATOS		SAAM PO4 TOT		ORTO		BORO 6 y A		SSe ST	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 8.00	2.80	2	5	0.89	0.017	192.00	26.00	0.10	0.177	0.132	0.50	1	0.0	0			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 7.70	3.00	4	5	2.27	0.178	120.00	15.20	0.09	0.320	0.000	0.40	13	0.1	343			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 7.30	2.00	8	51	2.38	0.760	99.55	28.00	1.10	0.000	0.130	0.25	45	0.0	475			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 7.50	3.30	8	46	1.79	1.630	140.03	28.00	0.80	0.000	0.160	0.19	11	0.0	1869			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 7.80	3.60	5	36	5.09	1.820	87.52	18.90	0.67	0.000	0.080	0.16	27	0.0	347			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 8.05	5.26	6	52	0.72	0.813	168.87	39.00	0.16	0.000	0.270	0.14	9	0.0	391			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena 8.00	4.80	3	10	0.78	0.756	97.20	62.00	0.24	0.000	0.200	0.24	8	0.0	273			

11

NOMBRE DE ESTACION	SDT Cr 6+ CLORUROS			TURB COLOR		FEMGLES		DUREZA POTASIO		SODIO		COL. TOT.		COL. FEC.		FECHA DE HUESTRED	
	mg/l	mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	ml	NMP/100 ml	ml			
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	0	-0.010	9.00	6.3	25	-0.001	204	0.00	24.00			300		300	24/03/89		
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	285	-0.010	0.00	33.0	75	0.003	98	7.00	19.00			300		300	13/05/88		
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	0	-0.010	11.57	0.0	0	-0.001	0	6.22	11.25			0		110000	29/04/89		
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	0	-0.010	11.57	0.0	0	-0.001	0	6.30	12.60			240000		0	26/07/88		
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	0	-0.010	8.70	0.0	0	0.003	0	5.88	106.99			120000		0	30/08/89		
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	0	-0.010	16.87	0.0	0	-0.001	0	6.00	16.00			40000		0	26/10/88		
6 -OTPR Obr. toma Presa Requena	0	-0.010	19.28	0.0	0	0.002	0	5.00	13.00			28000		0	15/11/83		

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQD N.ORG.		N.NO3 ALC.TOT.		SULFATOS		SAAM PO4 TOT		PCO4 ORTO		BORD 0 y A		SSE	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	7.60	0.00	25	130	2.91	0.077	308.00	68.00	0.82	1.620	1.400	0.82	15	0.0	0		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	6.80	5.00	41	160	7.21	0.385	58.00	13.60	0.25	0.290	0.000	0.18	8	3.0	1763		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	7.40	8.90	8	35	2.89	0.840	122.46	27.40	2.24	0.000	0.200	0.41	54	0.0	561		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	7.30	4.90	12	41	2.46	0.480	78.76	27.81	0.57	0.000	0.300	0.34	17	0.0	754		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	7.60	3.80	119	297	41.88	0.560	155.34	136.50	1.70	0.000	0.060	0.31	72	0.0	567		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	7.95	3.97	12	41	2.12	0.421	93.09	19.00	0.62	0.000	0.480	-0.01	52	0.0	328		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	8.00	1.00	48	63	9.96	0.169	304.56	52.00	0.45	0.000	0.430	1.29	26	0.0	330		

111

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+		CLORUROS		TURB COLOR		FENOLES	DUREZA TOTAL	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA DE MUESTREO
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	SI02	Pt/Co							
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	0	-0.010	18.00	2.1	50	0.016	216	0.00	41.00	240000000	110000000	24/03/99		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	205	-0.010	0.00	0.0	2000	0.002	102	6.00	12.00	240000000	110000000	13/05/99		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	0	-0.010	15.43	0.0	0	-0.001	0	6.99	18.52	0	30000000	29/06/99		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	0	-0.010	11.57	0.0	0	0.002	0	4.90	13.00	240000000	0	26/07/99		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	0	-0.010	19.28	0.0	0	0.007	0	5.88	219.99	210000000	0	30/08/99		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	0	-0.010	21.70	0.0	0	0.002	0	7.00	32.00	240000000	0	26/10/99		
7 -Rte.Rio Tepeji Pte.Carr.Tep	0	-0.010	31.31	0.0	0	0.008	0	9.00	33.00	2400E+13	0	15/11/99		

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD DBO 5		DQO N.ORO.		N. NO3		ALC. TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	GRD	BORDO y A		SSe	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l								mg/l	mg/l		
8 -EMC Salida Emisor Central	7.70	0.00	69	330	4.83	-0.001	278.00	76.00	6.06	8.700	4.130	0.84	27	0.3	696			
8 -EMC Salida Emisor Central	7.40	0.00	253	440	25.34	0.145	328.00	56.50	1.83	3.640	0.000	2.26	32	4.5	940			
8 -EMC Salida Emisor Central	7.30	0.00	69	349	11.76	0.410	119.24	43.40	1.26	0.000	0.310	0.61	97	0.0	1022			
8 -EMC Salida Emisor Central	7.60	0.00	110	494	19.26	0.060	354.45	79.50	3.58	0.000	-0.010	0.85	27	0.0	1195			
8 -EMC Salida Emisor Central	8.00	0.00	169	358	19.97	0.070	435.41	88.00	9.84	0.000	4.900	0.68	33	0.0	1184			
8 -EMC Salida Emisor Central	7.90	0.00	179	395	28.56	-0.001	454.65	125.00	12.80	0.000	5.280	0.90	10	0.0	1075			
8 -EMC Salida Emisor Central	7.80	0.00	129	605	22.96	-0.001	262.96	105.00	9.01	0.000	3.760	0.97	1	0.0	633			

111

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+	CLORUROS		TURB		COLOR		FENOLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA DE MUESTREO
			mg/l	mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co	mg/l							
8 -EMC Salida Emisor Central	586	-0.010	47.00	61	0	166	0.064	176	0.00	86.00	2400E+12	1100E+12	24/03/89		
8 -EMC Salida Emisor Central	786	-0.010	0.00	73	0	250	0.156	165	2.00	103.00	2400E+16	2400E+16	13/05/88		
8 -EMC Salida Emisor Central	0	-0.010	19.28	0.0	0	0.054	0	8.22	25.73	0	1300E+16	29/06/89			
8 -EMC Salida Emisor Central	0	-0.010	86.78	0.0	0	0.118	0	25.20	69.60	3000E+13	0	26/07/88			
8 -EMC Salida Emisor Central	0	-0.010	96.42	0.0	0	0.133	0	29.55	53.33	2400E+12	0	30/08/89			
8 -EMC Salida Emisor Central	0	-0.010	149.46	0.0	0	0.234	0	41.00	390.00	2400E+15	0	26/10/88			
8 -EMC Salida Emisor Central	0	-0.010	57.85	0.0	0	0.052	0	19.00	83.00	2400E+17	0	13/11/89			

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD	DBO 5	DOO	N.ORO.	N.NO3	ALC.TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	CRTO	BORO 6 y A	SSe	ST
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	8.30	4.00	7	10	1.36	1.439	378.00	104.50	0.55	0.450	0.000	1.40	136	1.5	984	
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	8.20	6.20	3	15	0.89	6.460	0.00	114.50	1.14	0.000	0.660	1.24	67	0.0	0	
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	8.50	4.70	3	51	0.95	6.880	426.66	120.00	0.40	0.000	0.620	0.75	20	0.0	999	
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	8.30	5.20	6	31	1.56	6.580	437.60	121.00	0.61	0.000	0.420	0.77	4	0.0	973	
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	8.40	5.07	6	31	0.78	7.477	415.68	161.00	0.86	0.000	0.800	0.86	54	0.0	938	
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	8.40	5.60	5	21	1.12	0.167	429.94	138.00	0.29	0.000	0.540	1.16	10	0.0	1012	

117

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+	CLORUROS	TURB	COLOR	FENCLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA DE MUESTREO
	mg/l	mg/l	mg/l	SI02	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	938	-0.010	0.00	17.0	25	0.002	407	23.00	130.00	21000000	21000000	13/05/89
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	0	-0.010	139.82	0.0	0	-0.001	0	20.99	80.43	0	11000000	29/06/88
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	0	-0.010	125.35	0.0	0	0.001	0	22.70	64.00	46000000	0	24/07/83
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	0	-0.010	144.64	0.0	0	0.098	0	24.99	66.66	70000	3000	30/08/88
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	0	-0.010	154.28	0.0	0	-0.001	0	28.00	160.00	2400000	0	24/10/83
1 -RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihua	0	-0.010	202.49	0.0	0	0.002	0	25.00	133.00	1100000	0	15/11/88

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD		DBO 5		COD N.ORG.		N.NH3		ALC.TOT.		SULFATOS		SAAM		PO4		TOT		PO4		ORTO		BORO		B y A		SSe		ST	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	7.80	2.00	24	80	7.59	0.537	484.00	93.00	6.24	2.490	0.000	2.76	9	1.0	1172																
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	7.80	4.20	8	35	5.99	8.130	781.11	133.50	3.23	0.000	2.180	3.40	37	0.0	1572																
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	7.80	4.30	8	83	3.47	11.390	614.82	138.50	0.84	0.000	1.410	1.99	18	0.0	1439																
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	8.50	4.00	8	87	1.84	8.450	1010.80	125.50	3.02	0.000	2.410	-0.01	5	0.0	1256																
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	8.35	3.87	10	52	5.76	8.664	612.69	175.00	2.15	0.000	3.900	2.45	25	0.0	1390																
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	8.45	5.10	8	0	5.70	0.175	611.28	156.00	2.76	0.000	2.730	0.00	7	0.0	1306																

114

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+	CLORUROS		TURB		COLOR		FENOLES	DUREZA		POTASIO	SODIO	COL.TOT.		COL.FEC.		FECHA DE MUESTREO
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	SI02	Pt/Co		mg/l	mg/l			mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	1126	-0.010	0.00	19.0	125	0.004	314	26.00	221.00	2400000000	2400000000	13/05/88						
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	0	-0.010	216.95	0.0	0	0.002	0	24.11	72.82	0	0	29/06/88						
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	0	-0.010	188.03	0.0	0	0.002	0	26.40	80.40	2400000000	0	26/07/88						
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	0	-0.010	207.31	0.0	0	0.108	0	30.22	56.66	11000000	0	30/08/88						
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	0	-0.010	226.60	0.0	0	0.003	0	36.00	384.00	2400000000	0	26/10/88						
2 -RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezon	0	-0.010	236.24	0.0	0	0.003	0	32.00	277.00	1100000	0	15/11/88						

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	DD DBO 5		DQD N.DRG.		N.NO3 ALC.TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORDO B y A		SSe	ST
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l								mg/l	mg/l		
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico 8.30	4.00	2	5	0.87	0.225	320.00	109.50	0.17	0.340	0.000	0.73	3	0.1	1171		
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico 8.00	6.30	4	25	0.62	3.940	350.09	103.50	2.55	0.000	0.410	0.68	24	0.0	832		
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico 8.00	0.00	4	32	0.78	6.080	303.51	109.50	0.08	0.000	0.370	0.42	13	0.0	808		
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico 8.20	5.80	6	26	1.00	6.460	345.70	115.50	0.35	0.000	0.230	0.42	23	0.0	757		
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico 8.40	5.36	1	10	7.67	5.014	357.22	149.00	0.33	0.000	3.900	0.31	24	0.0	837		
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico 8.40	5.96	2	0	0.00	0.120	360.72	129.00	0.22	0.000	0.240	0.55	22	0.0	764		

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+ CLORUROS		TURB COLOR		FENOLES	DUREZA TOTAL	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.		FECHA DE MUESTREO
		mg/l	mg/l	SiO2	Pt/Co						mg/l	mg/l	
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico	1135	-0.010	0.00	45.0	12	0.002	373	22.00	90.00	93000	93000	13/05/83	
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico	0	-0.010	106.95	0.0	0	-0.001	0	19.77	61.95	0	43000	29/06/88	
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico	0	-0.010	106.07	0.0	0	-0.001	0	31.30	60.40	2400000	0	26/07/80	
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico	0	-0.010	101.24	0.0	0	0.004	0	22.33	53.66	40000	4600	30/08/99	
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico	0	-0.010	110.89	0.0	0	0.000	0	26.00	104.00	230000	0	26/10/80	
3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscico	0	-0.010	115.71	0.0	0	0.000	0	22.00	84.00	90000	0	15/11/88	

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL #

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD	DBO 5	DOO	N.ORG.	N.NQ3	ALC.TOT.	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT	PO4	CRTO	BORO	O.y.A	SE	ST
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A 7.60	0.00	12	85	14.10	0.157	292.00	47.80	1.83	3.540	0.000	0.000	1.29	9	0.5	557		
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A 7.30	0.00	95	516	34.72	0.090	217.70	74.50	2.36	0.000	0.860	1.56	101	0.0	1557			
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A 7.60	2.40	29	107	12.32	0.150	249.43	62.20	4.30	0.000	1.210	0.60	24	0.0	804			
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A 7.95	4.00	25	108	15.28	0.160	195.98	60.20	4.92	0.000	1.030	0.63	5	0.0	500			
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A 8.00	0.00	107	229	1.30	-0.001	455.99	106.00	10.83	0.000	6.190	1.65	39	0.0	990			
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A 8.45	0.00	63	240	104.27	-0.001	265.68	51.00	26.50	0.000	3.790	1.10	5	0.0	540			

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+	CLDRUROS	TURB	COLOR	FENOLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL.TOT.	COL.FEC.	FECHA
	mg/l	mg/l	mg/l	SI02	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	DE MUESTRO
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A	553	-0.010	0.00	23.0	75	0.005	174	18.00	84.00	.2400E+11	.2400E+11	13/05/99
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A	0	-0.010	48.21	0.0	0	0.019	0	12.99	42.82	0	.2400E+12	29/06/88
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A	0	-0.010	53.03	0.0	0	-0.010	0	17.00	58.80	.2400E+13	0	26/07/99
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A	0	-0.010	33.75	0.0	0	0.006	0	11.55	37.66	.1200E+13	0	30/08/98
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A	0	-0.010	125.35	0.0	0	0.146	0	35.00	211.00	.1100E+14	0	26/10/98
5 -RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz A	0	-0.010	62.68	0.0	0	0.011	0	17.00	77.00	.2400E+16	0	15/11/98



RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 RIO TULA, HIDALGO  
 REG DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH	OD	DB5	DOO	N.DRO.	N.NO3	ALC.TOT.	SULFATOS	SAM	PO4	TOT	PO4	ORTO	BORO	G y A	SSe	ST
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	7.40	0.10	15	91	14.91	0.130	356.64	119.50	5.09	0.000			3.460	1.63	45	0.0	798
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	7.20	0.00	11	91	13.49	0.100	350.08	102.50	5.95	0.000			3.160	1.14	24	0.0	806
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	8.30	0.00	9	73	33.48	0.010	328.20	99.00	5.60	0.000			2.700	0.62	5	0.0	682
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	8.15	0.00	10	52	8.40	-0.001	294.44	73.00	5.79	0.000			2.190	0.94	16	0.0	707
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	7.60	0.40	6	21	5.88	-0.001	287.26	116.00	3.47	0.000			1.900	1.53	3	0.0	635

NOMBRE DE ESTACION	SDT	Cr 6+	CLORUROS	TURB	COLOR	FENOLES	DUREZA	POTASIO	SODIO	COL. TOT.	COL. FEC.	FECHA
	mg/l	mg/l	mg/l	SI02	Pt/Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml	DE MULSTRED
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	0	-0.010	91.60	0.0	0	0.009	0	0.00	0.00	0	1500000000	28/06/89
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	0	-0.010	110.90	0.0	0	0.025	0	22.80	69.00	40000000	0	25/07/88
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	0	-0.010	91.60	0.0	0	0.019	0	23.22	62.99	12000000	0	31/08/89
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	0	-0.010	91.60	0.0	0	0.010	0	83.00	138.00	40000000	0	25/10/88
4 -PRG Obr. T. Presa Rojo Gomez	0	-0.010	96.42	0.0	0	0.008	0	19.00	115.00	30000000	0	14/11/89

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 VALLE DE MEXICO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH DBO <sub>5</sub>		ODD		CLORUROS		N.NH <sub>3</sub>		N.DR <sub>2</sub>		N.TOTAL		N.NO <sub>3</sub>		N.NO <sub>2</sub>		ALC.TOT		DUREZA		SULFATOS		SARM		PO <sub>4</sub> TOT	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1 - Emisor Poniente	7.60	149	360	115.00	19.60	8.40	28.00	-0.001	0.160	420.00	0	105.00	6.40	0.000												
1 - Emisor Poniente	8.40	99	430	90.00	28.00	13.72	41.76	0.003	-0.001	342.00	0	143.00	2.57	0.000												
1 - Emisor Poniente	7.40	95	137	19.29	3.80	3.19	6.49	0.110	0.026	110.10	151	107.00	1.24	2.100												
1 - Emisor Poniente	8.00	149	459	144.64	20.90	9.14	30.04	-0.001	0.007	466.56	290	715.00	13.77	5.700												

NOMBRE DE ESTACION	PO <sub>4</sub> ORTO		Cr <sup>6+</sup>		O y A		ST		SPT		SVT		SS1		SSF		SSV		SDT		SDF		TDV		%S		CONDUCTIVIDAD		COLOR		FECHA	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1 - Emisor Poniente	0.000	-0.01	79	1000	712	268	267	28	229	733	674	59	0.50	1430	0	250	09/02/88															
1 - Emisor Poniente	0.000	-0.01	36	953	629	315	106	40	66	947	598	249	2.00	1456.0	1000	15/03/90																
1 - Emisor Poniente	0.012	0.00	10	869	0	0	331	0	0	538	0	0	0.00	0.0	0	09/06/93																
1 - Emisor Poniente	0.000	0.00	360	1922	1354	569	200	81	119	1722	1273	449	3.50	0.0	0	15/11/90																

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 VALLE DE MEXICO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL =

NOMBRE DE ESTACION	pH DBO_5		DQO CLORUROS N.NH3 N.ORG. N.TOTAL					N.NO3 N.NO2		ALC.TOT	DUREZA	SULFATOS	SAAM	PO4 TOT
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l					
2.- Rio de los Remedios	7.50	106	280	27.00	26.50	7.65	34.15	-0.001	0.240	210.00	0	86.00	4.60	0.000
2.- Rio de los Remedios	7.40	71	380	38.00	23.33	12.41	35.74	0.032	-0.001	252.00	0	39.00	0.62	0.000
2.- Rio de los Remedios	7.90	59	670	83.00	22.40	16.52	38.92	-0.001	-0.001	382.00	0	65.00	3.44	0.000
2.- Rio de los Remedios	7.50	85	203	0.48	7.61	7.50	13.11	0.010	-0.001	159.70	177	93.50	1.94	3.810
2.- Rio de los Remedios	7.90	111	199	40.50	7.84	7.98	15.82	0.280	0.267	192.50	329	293.00	5.98	8.880
2.- Rio de los Remedios	7.45	218	367	120.53	15.68	8.12	23.80	-0.001	-0.001	406.97	0	90.80	13.39	8.090
2.- Rio de los Remedios	7.50	56	367	24.11	14.63	4.69	19.32	-0.001	-0.001	175.04	120	34.00	5.60	3.660
2.- Rio de los Remedios	7.70	330	957	125.35	24.08	31.35	55.44	-0.001	-0.001	465.23	295	41.00	8.77	12.010
2.- Rio de los Remedios	6.90	328	689	120.53	10.36	13.16	23.52	-0.001	0.005	320.42	231	133.00	9.70	8.800
2.- Rio de los Remedios	7.50	72	146	40.98	12.32	1.26	13.58	-0.001	0.006	190.08	132	64.00	7.75	4.170

131

NOMBRE DE ESTACION	PO4 ORTO Cr 6+ G y A			ST SFT		SVT SST		SSF SSV		SDT SDF		SDV	SSe	CONDUCTIVIDAD	COLOR	FECHA DE NUESTRO
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l					
2.- Rio de los Remedios	0.000	-0.01	40	493	344	149	73	10	63	420	334	86	0.30	852.0	200	09/02/88
2.- Rio de los Remedios	0.000	-0.01	55	757	467	290	184	13	171	473	337	119	6.00	831.0	500	15/03/89
2.- Rio de los Remedios	0.000	-0.01	87	1209	846	363	497	250	247	712	596	116	6.00	1380.0	1250	23/03/88
2.- Rio de los Remedios	1.350	0.00	21	1253	0	0	1019	0	0	234	0	0	2.50	0.0	0	09/09/88
2.- Rio de los Remedios	0.950	0.00	70	2694	0	0	1530	0	0	1164	0	0	0.70	0.0	0	16/08/88
2.- Rio de los Remedios	5.120	0.00	80	1239	814	425	380	57	323	859	757	102	1.00	0.0	0	28/09/88
2.- Rio de los Remedios	2.590	0.00	119	491	316	175	87	76	11	404	240	164	1.80	0.0	0	11/10/88
2.- Rio de los Remedios	7.300	0.00	24	1343	766	577	380	50	330	963	716	247	6.00	0.0	0	18/10/88
2.- Rio de los Remedios	1.250	0.00	78	894	666	228	113	43	70	781	623	158	9.50	0.0	0	09/11/88
2.- Rio de los Remedios	0.000	0.00	29	404	444	160	69	26	43	335	218	117	1.28	0.0	0	15/11/88

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 VALLE DE MEXICO  
 RED. DE MONITOREO No. CONTROL -

NOMBRE DE ESTACION	pH DRD_3		DQO		CLORUROS		N.NH3	N.DRG.	N.TOTAL	N.NO3	N.NO2	ALC.TOT	UREZA	SULFATOS	SAAM	PO4	TOT
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3.- Canal Santo Tomas	7.60	198	480	76.00	28.84	10.36	39.20	-0.010	0.100	392.00	0	228.00	13.40	0.000			
3.- Canal Santo Tomas	7.20	95	244	31.34	7.28	9.70	16.98	-0.001	-0.001	146.50	153	125.50	1.76	3.560			
3.- Canal Santo Tomas	7.60	219	897	74.25	14.28	10.08	24.36	-0.001	-0.001	354.46	197	92.00	9.62	6.150			
3.- Canal Santo Tomas	7.45	5	31	25.07	3.13	2.46	5.59	-0.001	-0.001	120.96	130	43.00	3.34	1.350			

NOMBRE DE ESTACION	PO4	ORTO	Cr	6+	g	y	A	ST	SFT	SVT	EST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	S <sub>90</sub>	CONDUCTIVIDAD	COLOR	FECHA
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	µmhos/cm	Pt/Co	DE NUESTRO
3.- Canal Santo Tomas	0.000	-0.01	33	1071	771	300	66	14	52	1005	737	248	0.10	1755.0	250	09/02/88				
3.- Canal Santo Tomas	1.080	0.00	32	941	0	0	422	0	0	319	0	0	3.00	0.0	0	09/03/88				
3.- Canal Santo Tomas	3.731	0.00	92	788	526	262	60	35	3	728	471	257	2.00	0.0	0	11/10/89				
3.- Canal Santo Tomas	0.000	0.00	7	278	188	90	44	40	4	134	148	86	0.20	0.0	0	15/11/88				

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 VALLE DE MEXICO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL #

NOMBRE DE ESTACION	pH	DBO <sub>5</sub>	DQO		CLORUROS		N.NH <sub>3</sub>		N.CRB.		N.TOTAL		N.NO <sub>3</sub>		N.NO <sub>2</sub>		ALC. TOT	DUREZA	SULFATOS	SAAM	PO <sub>4</sub> TOT	
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l						mg/l
1.- Gran Canal Km 6+500	7.40	218	580	115.00	17.08	80.12	25.02	-0.001	0.007	380.00	0	85.00	8.75	0.000								
1.- Gran Canal Km 6+500	7.50	168	470	60.00	22.40	8.26	30.66	0.032	-0.001	324.00	0	78.00	15.10	0.000								
1.- Gran Canal Km 6+500	8.00	113	244	57.85	16.46	6.44	22.90	0.370	0.011	216.60	165	302.00	4.53	4.270								
1.- Gran Canal Km 6+500	7.75	146	286	122.94	19.41	5.41	24.92	-0.001	-0.001	415.72	0	96.40	8.94	7.400								
1.- Gran Canal Km 6+500	7.50	229	665	257.93	24.03	16.80	40.88	-0.001	-0.001	428.85	248	99.00	10.05	9.070								
1.- Gran Canal Km 6+500	7.05	268	585	120.53	17.92	17.92	35.94	-0.001	-0.001	407.02	209	196.00	12.90	6.340								

125

NOMBRE DE ESTACION	PO <sub>4</sub> ORTO Cr 6+6 y A		ST		SFT		SUT		SST		SSF		SSU		SDT		SDF		SDV		SS <sub>0</sub>		CONDUCTIVIDAD	COLOR	FECHA DE MUESTREO
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µmhos/cm			
1.- Gran Canal Km 6+500	0.000	-0.01	210	1062	588	474	420	20	400	642	568	74	1.70									1380.0	416	16/02/88	
1.- Gran Canal Km 6+500	0.000	-0.01	120	781	537	244	170	52	118	611	485	126	2.00									1173.0	166	23/03/88	
1.- Gran Canal Km 6+500	0.950	0.00	34	631	0	0	223	0	0	488	0	0	1.60									0.0	0	16/03/88	
1.- Gran Canal Km 6+500	4.990	0.00	76	1050	663	337	296	39	237	754	624	130	1.00									0.0	0	28/09/88	
1.- Gran Canal Km 6+500	6.600	0.00	86	1190	815	375	185	20	165	1005	795	210	3.00									0.0	0	18/10/88	
1.- Gran Canal Km 6+500	4.530	0.00	835	1542	764	773	503	27	476	1039	737	302	4.50									0.0	0	09/11/88	

RESULTADOS DE ANALISIS REALIZADOS  
 EN EL LABORATORIO CIECCA-INTA.  
 VALLE DE MEXICO  
 RED DE MONITOREO No. CONTROL \*

NOMBRE DE ESTACION	pH	DBO <sub>5</sub>	ODO		CLORUROS		N.NH3	N.DRO.	N.TOTAL	N.NO3	N.NO2	ALC.TOT	DUREZA	SULFATOS	SAAH	PO4 TOT
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l										
3.- Gran Canal Km 27+500	7.30	178	590	172.00	24.64	7.28	31.92	-0.001	0.002	440.00	0	75.00	8.48	0.000		
3.- Gran Canal Km 27+500	7.80	99	440	125.00	23.24	3.74	28.98	-0.001	-0.001	496.00	0	158.00	2.59	0.000		
3.- Gran Canal Km 27+500	6.50	190	532	265.16	17.08	2.70	19.78	0.390	-0.001	584.20	290	249.00	7.91	8.910		
3.- Gran Canal Km 27+500	7.75	172	510	289.27	11.74	10.09	21.84	-0.001	-0.001	629.05	0	109.20	7.40	7.640		
3.- Gran Canal Km 27+500	8.15	103	333	192.84	21.98	35.98	57.96	-0.001	-0.001	603.25	253	59.00	9.35	8.650		
3.- Gran Canal Km 27+500	7.40	192	496	289.27	12.88	7.00	19.88	-0.001	-0.001	623.52	255	142.00	9.80	7.440		

126

NOMBRE DE ESTACION	PO4 ORTO Cr 6+ 0 y A			ST	SFT	SVT	SST	SSF	SSU	SDT	SDF	SDU	Sse	CONDUCTIVIDAD	COLOR	FECHA DE MUESTRO
	mg/l	mg/l	mg/l													
3 - Gran Canal Km 27+500	0.000	-0.01	50	1211	743	468	110	0	110	1101	743	358	1.80	1740.0	333	16/02/88
3.- Gran Canal Km 27+500	0.000	-0.01	33	1118	846	272	280	105	175	838	741	97	1.40	1792.0	750	23/03/88
3 - Gran Canal Km 27+500	8.410	0.00	55	1707	0	0	258	0	0	1449	0	0	2.00	0.0	0	16/08/88
3.- Gran Canal Km 27+500	5.090	0.00	74	1248	1032	210	177	49	129	1071	990	81	2.00	0.0	0	28/09/88
3.- Gran Canal Km 27+500	7.100	0.00	16	1172	828	344	48	2	46	1124	826	298	-1.0	0.0	0	13/10/88
3.- Gran Canal Km 27+500	4.330	0.00	31	1476	1060	416	24	8	16	1452	1052	400	0.50	0.0	0	09/11/88







CUADRO 2. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS ANALITICOS EN LA RED DE MONITOREO XOCHIMILCO, D.F., (1988)

PARAMETRO	NOMBRE DE ESTACION							
	E. Caltepec	L. Los Reyes	C. Chalco	C. Nacional	R. San Buenaventura	Santa Teresa	Lago Chapultepec	
pH	8.11	8.48	7.64	7.48	7.44	7.15	9.14	
OD	4.74	9.80	4.87			5.65	9.82	
ODO 5	14.40	22.50	9.10	76.50	262.30	120.20	35.71	
DQO	88.50	206.10	30.10	204.10	482.40	274.20	193	
CLORUROS	49.43	127	51.02	48.09	39.19	16.13	18.29	
N.NH3	.79	1.10	3.62	12.28	31.82	11.45	1.61	
N.ORG.	3.79	9.17	2.08	6.64	20.30	8.24	8.55	
N.TOTAL	3.80	11.57	5.71	18.91	52.21	19.74	9.97	
N.NO3	.62	.48	7.46	.63	.89	.50	.11	
N.NO2	.07	.15	.12	.16	.01	.12		
ALC.TOT. #	307.82	523.86	183.37	298.99	241.81	154.77	105.44	
DUREZA TOTAL #	309.37	451.75	197.20	240.97	135.36	105.06	120.85	
DUREZA DE CALCIO#	207.83	383.18	135.81	166.57	75.49	54.71	60.20	
SULFATOS	104.46	152.84	73.96	73.41	34.49	36.88	37.15	
PO4 TOT	2.24	6.40	4.26	3.93	7.81	4.26	1.37	
PO4 ORTO	1.84	4.44	3.32	2.79	3.80	1.82	.47	
BORO	.54	.89	.69	.85	.38	.28	.19	
F-	.61	1.47	.86	.58	.91	.57	.47	
G y A	30.10	63	51	53.70	69.20	60.62	30.71	
ST	642.66	1118.90	563.70	666.60	657.10	440.14	439.71	
SFT	414.77	721.90	371.60	419.80	340.60	246.85	230.85	
SVT	227.80	397	181.10	246.80	316.30	193.28	208.86	
SST	34.66	129.40	28.50	104.30	226.90	152.14	141.86	
SSF	7.22	35.55	13.30	43.60	49.55	66.57	45.14	
SSV	27.44	94.40	15.20	60.70	182.30	85.57	96.71	
SDT	584.33	989.50	524.20	562.30	430.20	288	297.86	
SDF	383.88	689.90	358.30	376.20	296	180.28	185.71	
SDV	200.55	299.60	165.90	184.10	134.20	107.71	112.14	
SSe****	.18	.45	.50	194	4.01	2.38	.36	
CONDUCTIVIDAD*	959.52	1799.87	135.52	1005.84	852.02	710.50	488.97	
BAHM	1.23	6.04	2.10	5.31	8.04	3.46	.55	
TURBIDIDAD**	9.64	34.33	14.30	55.43	116.57	92.50	92.40	
COLOR***	136.86	354.71	66.71	165.16	292.71	197.40	210	
POTASIO	19.84	38.86	13.94	16.39	16.78	8.56	20.42	
SODIO	73.85	138.58	73.68	77.42	54.84	33.09	29.45	
COL.TOT.#	6.48E+4	1.18E+9	1.59E+5	5.13E+11	1.14E+13	6.42E+11	3.42E+10	
COL.FEC.#	3.46E+4	3.00E+8	1.57E+5	5.12E+11	1.00E+13	6.55E+11	3.42E+10	

Todos los resultados están expresados en mg/l con excepción del pH y los siguientes:

\* =  $\mu\text{mhos/cm}$

\*\* = SI02

\*\*\* = Pt/Cu

# =  $\text{mgP}/100 \text{ ml}$

\*\*\*\*=  $\text{ml/l}$

# = mg/l expresados como carbonato de calcio

CUADRO 3. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS ANALITICOS EN LA RED DE MONITOREO DEL RIO TULA, Hgo. (1988)

PARAMETRO	NOMBRE DE ESTACION							
	1.-RT4	2.-PVA	3.-RA1	4.-SOT	5.-RT2	6.-DPM	7.-DCFE	8.-OTPR
pH	8.38	8.97	8.05	7.70	7.65	7.77	7.05	7.77
OD	5.00	12.24	4.31		.45			3.53
DBO 5	4.42	22.86	8.14	15.43	79.57	107.57	116.43	5.14
DQO	20.14	90.85	35.57	85.43	222.57	210.57	329.71	29.28
N.ORG.	.96	4.15	5.05	11.47	16.41	12.82	18.09	1.98
N.NO3	5.52	1.07	1.90	.00	.12	.04	.25	.05
ALC.TOT. *	422.71	316.12	324.20	365.06	314.02	282.69	402.00	129.31
SULFATOS	135.09	112.83	114.64	107.07	173.00	324.00	257.21	31.01
SAAM	.42	2.67	2.18	4.76	6.70	6.03	5.74	.45
PO4 TOT	.36	1.63	4.11	5.23	3.18	2.33	8.75	.25
PO4 ORTO	.23	1.45	2.28	2.76	2.52	2.19	4.34	.16
BORO	1.18	1.23	1.22	1.32	1.44	1.29	2.01	.27
D y A	17.57	15.42	10.57	30.16	123.66	80	32.43	16.28
SSe*		.25	.30	.30	.35	.40	.40	
ST	1045.66	799.28	782.42	787.42	1172.71	1335.71	1520	616.33
SDT		772	844	875.50	1108	1604	1234.50	
Clor 6*								
CLORUROS	164.01	102.14	98.08	96.09	68.73	88.02	161.43	12.83
TURBIDIDAD #	4.45	38	9	25	19.45	25.20	66	19.65
COLOR**	15.50	121	50	75	75	62.50	550	50
FENOLES	.002	.016	.004	.049	.019	.660	.110	.002
DUREZA TOTAL #	419.50	258.50	318	312.50	516	534.50	326	151
POTASIO	26.23	23.43	22.35	24.27	21.98	39.01	33.68	6.23
SODIO	131.47	105.12	102.05	119.26	92.78	166.15	179.20	28.97
COL.TOT.***	2.70E+6	5.60E+5	2.42E+6	1.72E+7	8.22E+9	4.04E+11	4.85E+17	7.14E+14
COL.FEC.***	7.80E+5	1.56E+3	8.20E+4	1.17E+7	4.49E+8	9.18E+6	1.78E+14	3.68E+4

Todos los parámetros están expresados en mg/l con excepción del pH y los siguientes:

# = S102

\* = ml/l

# = mg/l expresados como carbonato de calcio

\*\* = Pt/Co

\*\*\* = NMP/100 ml

NOMBRE DE LAS ESTACIONES

1.-RT4 = 1.-RT4 R.Tula P.Cd.Imiquilpan

2.-PVA = 2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre

3.-RA1 = 3.-RA1 Rio Alfajayucan

4.-SOT = 4.-SOT S. Obr.toma Presa Encho

5.-RT2 = 5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula

6.-DPM = 6.-DPM R. Tula Desc. Refineria

7.-DCFE = 7.-DCFE C.Encho Desc. Termoelectrica

8.-OTPR = 8.-OTPR Obr.toma Presa Requena

CUADRO 3. CONTINUACION

NOMBRE DE ESTACION

PARAMETRO	7.-Rta.	8.-EMC	1.-RT3	2.-RS2	3.-RT2A	5.-RT1	4.-PRO
pH	7.53	7.67	8.35	8.11	8.21	7.81	7.74
DO	4.59		5.13	3.91	4.57	3.36	.25
DBO 5	37.86	141.14	5	11	3.16	55.17	10.20
DOO	112.43	381.57	26.50	67.40	19.60	214.17	65.60
N.ORO.	9.92	18.95	1.11	5.06	2.19	30.33	15.23
N.NO3	.42	.17	4.83	6.22	3.64	.14	.08
ALC.TOT. *	161.60	321.81	417.55	685.78	346.20	277.79	323.33
SULFATOS	49.18	81.91	126.50	136.92	119.33	66.70	102
SAAM	.95	6.34	.64	3.04	.62	846.50	5.18
PO4 TOT	.95	6.17					
PO4 ORTO	.49	3.68	.61	2.57	1.03	2.62	2.68
BORO	.54	1.02	1.03	2.65	.52	1.14	1.17
G y A	36.20	32.43	48.50	16.83	18.17	30.50	19.60
SSa**		2.40					
ST	725.50	962.14	981.60	1355.83	869.83	827.33	741.60
SDT		686					
Cr 6+							
CLORUROS	19.55	76.13	153.32	215.03	108.17	64.60	96.42
TURBIEDAD §		67					
COLOR**	1025	208					
FENÓLES	.006	.115	.025	.020	.004	.033	.014
DUREZA TOTAL #	159	170.50					
POTASIO	6.63	20.83	24.11	29.15	22.23	18.59	22
SODIO	52.78	115.81	105.68	175.32	75.67	85.21	95.99
COL. TOT.***	4.00E+11	4.44E+15	5.83E+6	1.01E+9	5.71E+5	4.83E+14	2.37E+7
COL.FEC.***	7.43E+7	1.30E+15	1.07E+7	1.20E+9	4.68E+4	1.32E+11	

Todos los parámetros están expresados en mg/l con excepción del pH y los siguientes:

§ = SiO2

# = ml/l

# = mg/l expresados como carbonato de calcio

\*\* = Pt/Co

\*\*\* = mm/100 ml

NOMBRE DE LAS ESTACIONES

7.-Rta. = 7.-Rta. Rio Tepeji Pte.Carr.Tepeji

8.-EMC = 8.-EMC Salda Emisor Central

1.-RT3 = 1.-RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihuala

2.-RS2 = 2.-RS2 R.Salaso Est.Midr.Tezonepec

3.-RT2A = 3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscicola

5.-RT1 = 5.-RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz Azul

4.-PRO = 4.-PRO Obr.T.Presa Rojo Gómez

CUADRO 4. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS ANALITICOS EN LA RED DE MONITOREO DEL VALLE DE MEXICO, (1988)

PARAMETRO	NOMBRE DE ESTACION							
	Emisor Poniente	Rio de los Remedios	C. Santo Tomás	Gran C. Km 6+500	Gran C. Km 27+500	Rio Churubusco	Rio CIA	
pH	7.85	7.53	7.46	7.53	7.82	7.82	7.95	
DBO 5	123	144.60	129.25	190.33	155.66	106.16	229.16	
DQO	346.50	425.80	413	472	483.50	276.66	673.16	
CLORUROS	92.23	62.05	51.66	122.37	222.26	105.71	264.14	
N.NH3	18.07	16.48	12.63	19.56	18.59	15.17	9.00	
N.ORG.	8.61	11.06	8.15	22.49	11.46	8.34	13.72	
N.TOTAL	26.69	27.54	21.53	30.02	30.06	23.51	22.80	
N.NO3	.06	.15		.20				
N.NO2	.06	.13		.009		.007	.013	
ALC.TOT	336.66	275.39	253.48	362.26	562.67	380.59	655.32	
DUREZA TOTAL	220.50	214	160	207.33	266	238.66	324.33	
SULFATOS	267.50	98.93	122.12	140.90	132.03	143.73	122.93	
SAAM	5.99	6.17	7.03	10.04	7.58	6.60	6.19	
PO4 TOT	3.90	7.06	3.68	6.77	8.13	4.98	5.31	
PO4 ORTO		3.09	2.40	4.26	6.73	3.30	2.59	
Cr 6+								
O y A	121.25	60.30	41	226.83	43.17	64	50.33	
ST	1186	1077.70	769.50	1842.66	1322	849.16	1650.83	
SFT	901.33	582.87	495	673.40	903	642.20	1079.20	
SVT	390.33	295.87	217.33	451.60	342	228	469	
SST	226	433.20	198	299.58	149.50	101.83	292.16	
SSF	53	65.62	36.33	31.60	40.75	38.00	81.40	
SSV	138	157.25	20.33	283.20	95.20	87.40	130.60	
SDT	960	634.50	571.50	743.16	1172.50	747.33	1366.67	
SDF	848.33	480.12	458.66	641.80	870.40	622.20	997.80	
SDV	252.33	138.62	197	168.40	246.80	140.60	338.40	
SSe**	1.70	4.13	1.32	2.13	1.56	3.32	1.45	
CONDUCTIVIDAD*	1547	1021		1276.50	1766	1234	2613	
COLOR***	625	650		291	541.50	291	875	

Todos los parámetros están expresados en mg/l con excepción del pH y los siguientes:

\* = mmhos/cm

\*\* = ml/l

\*\*\* = Pt/Co

\* = mg/l expresados como carbonato de calcio

## 5 APLICACION DEL INDICE E INTERPRETACION DE RESULTADOS

El grado de contaminación existente en el agua en la fecha de muestreo expresado como un porcentaje se define como "índice de calidad". Así, el agua altamente contaminada tendrá un índice de calidad diferente al agua con baja contaminación; el primero cercano o igual a cero y el segundo cercano a 100 % (22)

El índice de calidad proporciona un medio cuantificable y comparable de contaminación, que agrupa resultados analíticos en forma porcentual.

### 5.1 Metodología

La contaminación del agua adquiere mayor importancia cuando ésta implica una carga económica, un perjuicio estético o un riesgo sanitario dependiendo de los usos a que ésta se destina. Consecuentemente, las diferentes clases de usos tienen que ser identificados y todas las preferencias tomadas en cuenta para cuando la escala de importancia relativa sea establecida. Los diferentes usos del agua considerados en el presente estudio son: abastecimiento público (agua potable), natación y otros deportes acuáticos con contacto completo con el cuerpo, piscícola y vida acuática, riego, industrial (sistemas de enfriamiento y calentamiento), y navegación.

El objetivo del índice global de calidad (IG), es proporcionar un medio para agrupar los resultados de los análisis químicos del agua, en forma de porcentaje de contaminación comparable. Esto facilitará a una gran mayoría de gente, entender el grado de contaminación, debido a que el reportar un parámetro en mg/l tiene dos desventajas: 1) poca gente entiende el significado de los resultados y 2) la unidad de mg/l sólo es comparable consigo misma. Por lo tanto, si los resultados son transformados a porcentaje de contaminación, el agua está evaluada en términos semejantes y fácilmente entendibles, que pueden interrelacionarse algebraicamente.

En el desarrollo del índice de calidad es necesario considerar los factores físicos, químicos y microbiológicos de contaminación.

Para obtener el índice de calidad fue necesario:

1. Crear una escala de evaluación general de acuerdo con los diferentes usos del agua, con el objeto de proveer un criterio estándar, así como para transformar las mediciones individuales en una sola unidad de comparación de calidad del agua (cuadro 12). En dicha escala se tomó como base la experiencia de expertos en la materia. Para la realización de la escala de evaluación general, fue necesario tomar en cuenta los límites permisibles de cada uso al que se destina el agua. En el cuadro 12 se observan tres grados de calidad del agua que son: aceptable, contaminada y fuertemente contaminada.

Además para el uso industrial sólo se tomaron en cuenta los procesos de enfriamiento y calentamiento. (3, 6, 36, 31, 11, 12)

2. Modificar las ecuaciones para cada parámetro (procedimiento de Dinus) con respecto a los valores permisibles que marca la norma oficial mexicana de agua potable y a las guías para la calidad de agua potable (cuadro 5), dichas ecuaciones transforman los datos físicos de las muestras de agua a un valor de índice de calidad del parámetro (Ii). Se tomaron en cuenta los valores que marca la norma oficial mexicana de agua potable, debido a que de los diferentes usos considerados en este trabajo, es el agua que requiere de mayor grado de calidad.

Por ejemplo, para la obtención de la ecuación modificada para sulfatos; se utilizaron los siguientes valores.

Indice de calidad para sulfatos (X)	mg SO <sub>4</sub> /l
70 B	250*
50 B	1000**

\* Valor permisible de acuerdo a la norma oficial mexicana para agua de consumo humano.

\*\* Valor que causa daños a la salud humana.

B Valores de la escala de evaluación general.

Como se mencionó anteriormente, las ecuaciones son del tipo  $Y = b(X)^m$ ; por lo tanto, con los valores anteriores tenemos un sistema de ecuaciones simultáneas, en las cuales las incógnitas son  $b$  y  $m$ .

$$\begin{array}{ll}
 70 = b(250)^m & 50 = b(1000)^m \\
 \log 70 - \log b = m \log 250 & \log 50 - \log b = m \log 1000 \\
 1.845 - \log b = 2.3979m & 1.698 - \log b = 3m \\
 -\log b = 2.3979m - 1.845 & -\log b = 3m - 1.698 \\
 3m - 1.698 = 2.3979m - 1.845 & \\
 0.6021m = -0.146 & -\log b = 3(-0.242) - 1.698 \\
 & -\log b = -2.424 \\
 & b = 10^{2.424} \\
 m = -0.242 & b = 267.04
 \end{array}$$

Sustituyendo los valores obtenidos de  $b$  y  $m$ , obtenemos la siguiente ecuación modificada para sulfatos.

$$I_{SO_4} = 267.04 (SO_4)^{-0.242}$$

donde:  $I_{SO_4}$  = Índice de calidad para sulfatos (x)  
 $(SO_4)$  = Concentración de sulfatos (mg/l)



La ecuación para "I<sub>004</sub>" se expresa como una función de potencia. En la gráfica 1 se puede observar el comportamiento de la ecuación anterior a diferentes concentraciones, y el valor de la pendiente es igual al valor del exponente de la ecuación anterior en coordenadas log-log.

3. Aplicación de las ecuaciones modificadas (cuadro 11) a los valores permisibles de otros usos del agua (Cuadros del 6 al 10), para obtener el intervalo de acuerdo a la escala de evaluación general. Para la aplicación de la metodología se seleccionaron los siguientes parámetros: pH, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, cloruros, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitratos, nitritos, alcalinidad total, dureza total, sulfatos, fosfatos, grasas y aceites, sólidos totales, sólidos disueltos totales, conductividad, turbiedad, color, fluoruros, cromo hexavalente, sodio, boro, fenoles, temperatura, coliformes totales, coliformes fecales, plomo, arsénico, cadmio, bario, cobre, hierro, selenio, manganeso, mercurio, zinc y materia flotante; los cuales se consideran los más representativos para una evaluación de calidad del agua.

Los criterios que implican los valores de concentración de los diferentes grado de calidad son los siguientes:

USO	GRADOS DE CALIDAD		
	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
Potable	Norma oficial mexicana	Daños a a la salud del hombre y efectos desagradables al consumidor	Daños severos a la salud del hombre y efectos desagradables al consumidor.
Vida acuática y piscicultura	*	Daños a los peces y desequilibrio del sistema ecológico.	Toxicidad severa para los peces.
Recreacional con contacto primario	*	Daños a la salud del hombre y efectos indeseables.	Daños severos a la salud del hombre.
Industrial	*	Formación de depósitos y corrosión en los sistemas.	Obstrucción de los sistemas y crecimiento biológico.
Riego Agrícola	*	Daño a plantas, deterioro del suelo y posible afectación a los consumidores.	Daño a la productividad del suelo y a la salud de los consumidores
Navegación	*	Crecimiento desmedido de plantas acuáticas.	

\* Concentraciones que se consideran aceptables de acuerdo a las bibliografías consultadas. (Ver cuadros 6, 7, 8, 9 y 10)

4. Además, debido a que ciertos parámetros son más significativos para la calidad del agua que otros, se les asignó un peso de importancia relativa (Wi), de acuerdo a su importancia sanitaria. Los pesos de importancia relativa de los parámetros (cuadro 11), fueron designados de acuerdo al uso, llegando a la siguiente conclusión:

USO	Wi
agua potable	5
vida acuática y recreación	4
riego	3
industrial	2
navegación	1

Los parámetros a los que se les asignó un  $W_i = 5$  son aquellos que impactan en gran proporción a la salud humana, por ejemplo la presencia de coliformes fecales indica que el agua fue contaminada con materia fecal de animales de sangre caliente, así como los metales y fenoles en bajas concentraciones son tóxicos para la salud humana, tales parámetros son: coliformes totales, coliformes fecales, fluoruros, fenoles, cromo hexavalente, arsénico y mercurio.

A los parámetros nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitratos, nitritos, grasas y aceites, fosfatos y temperatura se les asignó el valor de  $W_i = 4$ , porque la presencia de estas

substancias en el agua, provoca una proliferación de organismos, que causan desequilibrios al sistema ecológico acuático. La temperatura afecta el equilibrio si está en condiciones diferentes a las naturales, acelerando o retardando los procesos químicos y biológicos.

Los parámetros que pueden causar daños a los vegetales o deterioro al suelo agrícola, se les asignó el valor de  $W_i = 3$  (DBO, SDT, conductividad, sodio, boro, cadmio, bario, cobre, hierro, selenio y manganeso).

Se les asignó el valor de  $W_i = 2$  a los parámetros: DQO, cloruros, alcalinidad, dureza y sulfatos; los cuales son causantes de incrustaciones en los sistemas de enfriamiento y calentamiento.

5. La definición propuesta para el Índice de Calidad de Agua (IG) es la siguiente:

$$IG = \frac{\sum I_i \times W_i}{\sum W_i}$$

Donde: IG = Índice de Calidad Global

$I_i$  = Índice de Calidad individual del parámetro  $i$

$W_i$  = Peso importancia relativa del parámetro  $i$

6. Por último, se aplicó dicha metodología a partir del punto 3 en los promedios anuales de los resultados analíticos de 1988 (cuadros 2, 3 y 4), obteniéndose los valores de IG que se enlistan en los cuadros 13, 14 y 15.

El IG representa la calidad del agua en un punto en el tiempo, o sea nos expresa tanto el nivel de contaminación como el cambio con el tiempo.

El índice de calidad (IG) es un sistema de información que puede evaluar la calidad de agua para diferentes usos como son: potable, recreacional con contacto primario, industrial, agrícola, piscicultura o vida acuática y navegación.

Por ejemplo, para la obtención del IG del agua de la estación E. Caltongo:

El primer paso es obtener los índices de calidad de cada parámetro y los Iiwi. En el caso de sulfatos que tiene una concentración de 104.46 mg de SO<sub>4</sub>/l y un peso de importancia relativa de 2, el procedimiento es el siguiente:

$$I_{SO_4} = 267.04 (SO_4) - 0.000$$

$$I_{BOA} = 267.04 (104.46) - 0.222$$

$$I_{BOA} = 267.04 \times 0.2246$$

$$I_{BOA} = 86.69 \%$$

$$IiWi = 86.69 \times 2 = 173.38$$

La obtención del  $I_{BOA}$  la podemos realizar por dos diferentes procedimientos: el primero por medio de la aplicación de la ecuación anterior, y el segundo por una interpolación en la gráfica 1b. Aunque para el segundo procedimiento se tendría que realizar la curva de cada parámetro.

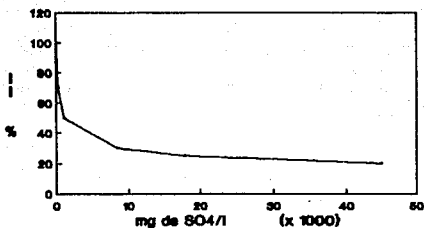
El siguiente paso es obtener el IG por medio de una sumatoria de los  $IiWi$  de cada parámetro, que en el caso de la estación E. Caltongo es de 3938.46 (ver cuadro 13), y dividir entre la sumatoria de los pesos de importancia relativa ( $Wi = 69$ )

$$IG = 3938.46 + 69 = 57.08$$

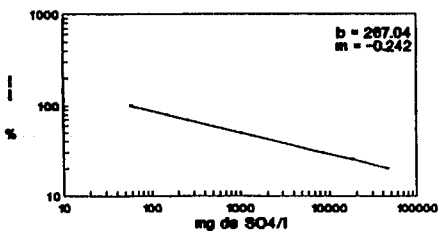
Una limitante del índice de calidad es que sólo obedece a ciertos datos, como son los de la "norma mexicana de agua potable" y a los límites aceptables para otros usos del agua.

En los cuadros 13, 14 y 15 se presentan los valores de LIWI como función de la concentración de cada parámetro y el índice global de calidad del agua (IG) de cada estación de muestreo. El valor de IG es utilizado para determinar cual es el uso más factible a dar al agua, por medio de una interpolación en el cuadro No. 12

**Gráfica 1. Índice de calidad  
para sulfatos**  
a) Coordenadas normales



**Gráfica 1. Índice de calidad  
para sulfatos**  
b) Coordenadas log-log





CUADRO 5. VALORES PERMISIBLES PARA AGUA POTABLE

PARAMETRO	GRADOS DE CALIDAD		
	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
pH	6.9-8.6	5.5-9.5	Este grado de calidad implica valores mayores a los que se tienen en el grado de contaminada.
DBO 5	2	20	
DQO	10	50	
CLORUROS	250	400	
N.NH3	.50	1.50	
N.ORG.	.10	20	
N.NO3	5	10	
N.NO2	.05	4	
ALC.TOT. 8	400	2000	
DUREZA TOTAL 8	300	500	
SULFATOS	250	1000	
PO4	.01	.10	
G Y A	.76	1	
ST	1000	2500	
SDT	1000	2000	
CONDUCTIVIDAD **	100	500	
TURBIEDAD (SiO2)	10	40	*Todos los valores están expresados en mg/l, excepto el pH y los que indiquen otras unidades
COLOR (PtCo)	20	40	
FLUORUROS	1.50	4.50	
Cr 6+	.05	5	
SODIO	200	1000	
BORO	.10	2.20	** µmhos/cm
FENOLES	.001	.10	
TEMPERATURA *C	CN + 2.5	CN + 8	*** NMP/100 ml
COL.TOT. ***	2	10	
COL.FEC. ***	0	2	CN = Condiciones naturales
PLOMO	.05	.40	
ARSENICO	.05	.50	
CADMIO	.005	10	8 mg/l expresada como carbonato de calcio
BARIO	1	10	
COBRE	1.50	5	
HIERRO	.30	1	
SELENIO	.05	2	
MANGANESO	.15	14	
MERCURIO	.001	.03	
ZINC	5	15	
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	MUY ESCASA	

Diario oficial de la federación. Organó del gobierno constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. "Normas de calidad para agua y hielo para uso humano y para refrigerar". Tomo CDXII. No. 11. México, D.F. marzo de 1986.

OPS/OMS. "Guías para la calidad del agua potable. Criterio relativos a la salud y otra información de base". Vol II Washington, D.C. 1987

CUADRO 6. VALORES PERMISIBLES PARA AGUA DE USO PISCICOLA Y VIDA ACUATICA

PARAMETRO	GRADOS DE CALIDAD		
	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
pH	6.5-8.5	6-9	Este grado de calidad
DBO 5	2	35	implica valores mayores
DQO	25	75	a los que se tienen en
CLORUROS	100	500	el grado de contaminada.
N.NH3	1.80	3	
N.NO3	5	10	
N.NO2	5		
ALC. TOT. 8	500	3000	
DUREZA TOTAL 8	1000		
SULFATOS	500		
PO4	.50	1	
G Y A	.76	2	
ST	1000	3000	
SDT	500	2000	
TURBIEDAD (SiO2)	25	50	
COLOR (PtCo)	20	60	
FLUORUROS	3		*Todos los valores están
Cr 6+	1		expresados en mg/l, ex-
FENOLES	.01	.10	cepto el pH y los que
TEMPERATURA °C	CN + 2.5	CN + 4	indiquen otras unidades
COL.TOT. ***	3000	10000	
COL.FEC. ***	1000	3000	*** NMP/100 ml
PLOMO	.06	.10	
ARSENICO	.10	1	CN = Condiciones natu-
CADMIO	.02		rales
BARIO	2		
COBRE	.20	.50	8 mg/l expresada como
HIERRO	.10		carbonato de calcio
SELENIO	.20		
MERCURIO	.005		
ZINC	.60	10	
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	MUY ESCASA	

OPS/OMS. "Guías para la calidad del agua potable. Criterio relativos a la salud y otra información de base". Vol II Washington, D.C. 1987

SARH. Legislación relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de planeación. Dirección general de protección y ordenación ecológica. 1972.

U.S. Department of the interior. "Report of the committee on water quality criteria". Federal water pollution control administration. Washington, D.C. abril 1968.

CUADRO 7. VALORES PERMISIBLES PARA AGUA DE USO RECREACIONAL CON CONTACTO PRIMARIO.

PARAMETRO	GRADOS DE CALIDAD		
	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
pH	6.5-8.3	5-9	Este grado de calidad implica valores mayores a los que se tienen en el grado de contaminada.
DBO 5	2	40	
DQO	25	75	
N.NH3	1	5	
N.NO3	5	10	
N.NO2	5		
ALC.TOT. 8	500	3000	
DUREZA TOTAL 8	2000		
PO4	.50	1	
G Y A	.76	1.20	
SDT	2000	4000	
TURBIEDAD (SiO2)	25	50	
COLOR (PtCo)	20	40	
Cr 6+	1		*Todos los valores están expresados en mg/l, excepto el pH y los que indiquen otras unidades
BORO	1		
FENOLES	1		
TEMPERATURA °C	CN + 2.5	CN +4	
COL.TOT. ***	1000	10000	
COL.FEC. ***	200	3000	
PLOMO	.10		*** NMP/100 ml
ARSENICO	1		
CADMIO	.01		CN = Condiciones naturales
BARIO	5		
COBRE	.20		
SELENIO	.05		8 mg/l expresada como carbonato de calcio
MERCURIO	.01		
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	MUY ESCASA	

SARH. Legislación relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de planeación. Dirección general de protección y ordenación ecológica. 1972

Dioni, G.W. "Un índice de calidad para aguas marinas de uso turístico con contacto primario aplicable a la Bahía de Acapulco". SARH enero:1975.

U.S. Department of the interior. "Report of the committee on water quality criteria". Federal water pollution control administration. Washington, D.C. abril 1968.

CUADRO 8. VALORES PERMISIBLES PARA AGUA DE USO INDUSTRIAL  
(SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO Y CALENTAMIENTO)

PARAMETRO	GRADOS DE CALIDAD		
	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
pH	6-9	5-10	Este grado de calidad
DBO 5	10	40	implica valores mayores
DQO	25	75	a los que se tienen en
CLORUROS	500		el grado de contaminada.
N.NH3	5		
N.NO3	5	10	
N.NO2	5		
ALC.TOT. B	140	2000	
DUREZA TOTAL B	130	300	
SULFATOS	200	300	
G Y A	.76	1.20	
ST	510	1000	
SDT	1000	3000	
CONDUCTIVIDAD **	1000	2000	*Todos los valores están
TURBIEDAD (SiO2)	80	150	expresados en mg/l, ex-
COLOR (PtCo)	50	150	cepto el pH y los que
FLUORUROS	1.20	3	indiquen otras unidades
BORO	1	2	
TEMPERATURA °C	CN + 2.9	CN + 4	** μmhos/cm
COL.TOT. ***	10000	15000	
COL.FEC. ***	2000	3000	*** NMP/100 ml
PLOMO	.05		
ARSENICO	.05		CN = Condiciones natu-
CADMIO	.01		rales
COBRE	.50	.80	
HIERRO	1		8 mg/l expresada como
MANGANESO	.30		carbonato de calcio
ZINC	1		
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	MUY ESCASA	

Athie Lombarri, Mauricio C. "Water quality management in Civac, Mor"  
Thesis for the degree of master of science. University of Strathaly-  
de. Departament civil engineery. Public health division. 1978

Departamento de Ingenieria civil. DIDIA. ITESM. "Estudio de la fac-  
tibilidad técnica y económica de la utilización del agua en la ciu-  
dad de Monterrey. SRH. Mayo 1975.

Diseños hidráulicos y técnico ambiental, S.A. "Estudios sobre usos  
del agua, métodos y costos para el control de la contaminación del  
agua residual en la industria petrolera". SRH. Enero 1975.

CUADRO 9. VALORES PERMISIBLES PARA AGUA DE RIEGO

PARAMETRO	GRADOS DE CALIDAD		
	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
pH	6.5-8.5	6-9	Este grado de calidad implica valores mayores a los que se tienen en el grado de contaminada.
DBO 5	100		
DQO	250		
CLORUROS	150	350	
N.NH3	5	30	
N.NO3	45	100	
N.NO2	5	20	
ALC.TOT. 8	600	2000	
DUREZA TOTAL 8	2000	4000	
SULFATOS	250		
PO4	.50		
G Y A	1.20	3	
ST	1000		
SDT	500	2000	
CONDUCTIVIDAD **	2000	3000	*Todos los valores están expresados en mg/l, excepto el pH y los que indiquen otras unidades
TURBIEDAD (SiO2)	20	40	
COLOR (PtCo)	30	50	
FLUORUROS	1.20		
Cr 6+	5		** μmhos/cm
SODIO	69	100	
BORO	2	4	*** NMP/100 ml
TEMPERATURA °C	CN + 2.9	CN + 4	
COL.TOT. ***	5000	10000	CN = Condiciones naturales
COL.FEC. ***	1000	2000	
PLOMO	5	10	
ARSENICO	.10	3	8 mg/l expresada como carbonato de calcio
CADMIO	.01		
BARIO	1		
COBRE	1		
HIERRO	5		
SELENIO	.02	.05	
MANGANESO	.20		
ZINC	5		
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	MUY ESCASA	

Athie Lombarri, Mauricio C. "Water quality management in Civac, Mor" Thesis for the degree of master of science. University of Strathalyde. Departament civil engineering. Public health division. 1978

Departamento de ingeniería civil. DIDIA. ITESM. "Estudio de la factibilidad técnica y económica de la utilización del agua en la ciudad de Monterrey. SRH. Mayo 1975.

SARH. Legislación relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de planeación. Dirección general de protección y ordenación ecológica. 1972

Aguirre Martinez, Jorge. "Reutilización de aguas residuales para proposito agrícola e industrial". SRH. 1974

Zapater Roviera, Juan M. "Reutilización de aguas residuales para agricultura". CEPIS. Lima, Perú. Enero 1980.

CUADRO 10. VALORES PERMISIBLES PARA AGUA DE NAVEGACION

PARAMETRO	GRADOS DE CALIDAD	
	ACEPTABLE	CONTAMINADA
pH	5-9	Este grado de calidad implica valores mayores a los que se tienen en el grado de aceptable.
DBO 5	200	
CLORUROS	1000	
N.NH3	200	
N.ORG.	100	
ALC.TOT. $\delta$	1000	*Todos los valores están expresados en mg/l, excepto el pH y los que indiquen otras unidades.
DUREZA TOTAL $\delta$	3000	
PO4	5	
G Y A	25	
SDT	4500	
CONDUCTIVIDAD **	5000	** $\mu$ mhos/cm
TURBIEDAD (SiO2)	500	
COLOR (PtCo)	500	*** NMP/100 ml
COL.TOT. ***	10000	
COL.FEC. ***	5000	CN = Condiciones naturales
		$\delta$ mg/l expresada como carbonato de calcio

SARH. Legislación relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de planeación. Dirección general de protección y ordenación ecológica. 1972

U.S. Department of the interior. "Report of the committee on water quality criteria". Federal water pollution control administration. Washington, D.C. abril 1968.

CUADRO 11. ECUACIONES Y PESO DE IMPORTANCIA PARA OBTENCION DE LOS IIVI DE CADA PARAMETRO

PARAMETRO	PESO	FUNCION	CONSIDERAR I = 100 CUANDO:
pH*	1	$I_{pH} = 10^{0.11(pH - 7)}$ $I_{pH} = 100$ $I_{pH} = 10^{-0.11(pH - 8.6)}$	
DBO 5	3	$I_{DBO5} = 77.43 (DBO5)^{-0.146}$	< 0.17
DOO	2	$I_{DOO} = 113.21 (DOO)^{-0.289}$	< 1.80
CLORUROS	2	$I_{Cl} = 3.63E+3 (Cl)^{-0.758}$	< 151.94
N.NH3	4	$I_{NH3} = 56.62 (NH3)^{-0.368}$	< 0.15
N.ORG.	4	$I_{N.ORG} = 60.47 (N.ORG)^{-0.076}$	< 4.37E-4
N.NO3	4	$I_{NO3} = 152.77 (NO3)^{-0.498}$	< 2.39
N.NO2	4	$I_{NO2} = 55.55 (NO2)^{-0.076}$	< 4.37E-4
ALC.TOT. #	2	$I_{ALC} = 244.61 (ALC)^{-0.288}$	< 73.73
DUREZA TOTAL #	2	$I_{DUREZA} = 10^{-7.3E-4(DUREZA) + 2.064}$	< 87.67
SULFATOS	2	$I_{SO4} = 267.04 (SO4)^{-0.248}$	< 57.9
PO4	4	$I_{PO4} = 54.48 (PO4)^{-0.100}$	< 3.9E-3
O Y A	4	$I_{OYA} = 50 (OYA)^{-1.287}$	< 0.57
ST	2	$I_{ST} = 86.66 - 0.016 (ST)$	
SOT	3	$I_{SOT} = 90 - 0.02 (SOT)$	
CONDUCTIVIDAD**	3	$I_{CE} = 183.27 (CE)^{-0.289}$	< 18.14
TURBIDIDAD***	1	$I_{TUR} = 122.18 (TUR)^{-0.242}$	< 2.29
COLOR #	1	$I_{COLOR} = 299.22 (COLOR)^{-0.498}$	< 9.6
FLUORUROS	5	$I_{F-} = 79.23 (F-)^{-0.336}$	< 0.47
Cr 6+	5	$I_{Cr6+} = 56.24 (Cr6+)^{-0.073}$	< 3.77E-4
SODIO	3	$I_{Na} = 211.21 (Na)^{-0.088}$	< 36.4
BORO	3	$I_{B} = 10^{-0.000000} + 1.000$	
FENOLES	5	$I_{FENOL} = 42.27 (FENOL)^{-0.073}$	< 7.54E-6
TEMPERATURA °C	4	$I_T = -3.436 (Tamb - Tagua) + 79.088$	
COL.TOT. #	5	$I_{CT} = 80.91 (CT)^{-0.289}$	
COL.FEC. #	5	$I_{CF} = 80.91 (CF)^{-0.289}$	
PLOMO	5	$I_{Pb} = 43.13 (Pb)^{-0.100}$	< 5.56E-3
ARSENICO	5	$I_{As} = 45.19 (As)^{-0.146}$	< 4.34E-3
CADMIO	3	$I_{Cd} = 55.36 (Cd)^{-0.498}$	< 1.46E-6
BARIO	3	$I_{Ba} = 69.98 (Ba)^{-0.146}$	< 0.67E-2
COBRE	3	$I_{Cu} = 78.37 (Cu)^{-0.079}$	< 0.42
NIERRO	3	$I_{Fe} = 50 (Fe)^{-0.079}$	< 0.34E-2
SELENIO	3	$I_{Se} = 53.26 (Se)^{-0.091}$	< 9.04E-4
MANGANESO	3	$I_{Mn} = 68.8 (Mn)^{-0.076}$	< 1.2E-3
MERCURIO	5	$I_{Hg} = 35.36 (Hg)^{-0.099}$	< 2.75E-5
ZINC	3	$I_{Zn} = 114.73 (Zn)^{-0.367}$	< 1.56
MATERIA FLOTANTE	1	AUSENTE MUY ESCASA ESCASA FRECUENTE MUY ABUNDANTE	
		INERTES 100 80 40 20 0	
		ORGANICAS 100 60 20 0 0	

Para la utilización de las funciones todos los resultados deben estar expresados en mg/l, excepto:

\* = Unidades de pH

\*\* =  $\mu$ mos/cm

# = mg/l expresados como carbonato de calcio

\*\*\* = SiO2

# = Pt/Co

§ = BMP/100 ml

Cuadro 12. Escala general de evaluación para diferentes usos del agua

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA X	100	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
	80	CONTAMI- NADA	CONTAMI- NADA	CONTAMI- NADA	CONTAMI- NADA	CONTAMI- NADA
	60	FUERTEMENTE CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	CONTAMI- NADA
	40					
	20					
	0					
	POTABLE	VIDA ACUA- TICA, PIS- CICULTURA	RECREACION C/CONTACTO PRIMARIO	INDUSTRIAL	RIEGO AGRICOLA	NAVEGACION



CUADRO 13. VALORES DE IIVI E IG EN LA RED DE MONITOREO DE XOCHIMILCO, D.F. (1988)

PARAMETRO	NOMBRE DE ESTACION						
	E. Caltonpa	L. Los Reyes	C. Chalco	G. Nacional	R. San Buenaventura	Santa Teresa	Lago Chapultepec
pH	100	100	100	100	100	100	37.36
DBO 5	157.35	147.42	168.27	123.33	102.33	115.41	137.82
DOO	88.71	74.34	105.80	74.50	62.24	70.04	75.36
CLORUROS	200	200	200	200	200	200	200
N.NH3	243.40	219.96	152.76	105.12	78.56	107.40	195.76
N.ORG.	222.40	210.36	230.96	214.68	200.04	211.76	211.28
N.NO3	400	400	229.16	400	400	400	400
N.NO2	271.96	256.64	261.04	255.40	315.28	261.04	
ALC.TOT.	148.56	133	165.44	149.48	156.20	171.40	185.64
DUREZA TOTAL	137.38	108.46	166.34	154.56	184.60	194.24	189.14
SULFATOS	173.39	158.12	188.40	188.04	200	200	200
PO4	186.96	153.12	165.44	168	147.44	82.72	205.24
BORO	195.81	185.22	191.19	186.39	200.85	102.03	207
F-	460.85	352.35	414.85	488	407.75	470.50	499.10
G y A	3.04	1.24	1.60	1.48	1.08	1.28	2.96
ST	152.74	137.50	155.28	151.98	152.30	159.22	159.24
SOT	234.93	210.63	238.56	236.25	244.20	252.72	252.12
CONDUCTIVIDAD	130.89	114.78	197.07	129.63	134.19	139.38	150.69
TURBIDIDAD	70.60	51.92	64.18	46.22	36.36	40.85	40.86
COLOR	27.53	17.35	39.02	25.14	19.04	23.05	22.37
SODIO	259.53	227.16	259.08	256.41	275.49	300	300
COL.TOT.	39.95	5.20	33.10	1.45	.75	1.35	2.55
COL.FEC.	32.50	4.90	23.70	1.05	.55	.95	1.82
IIVI	3938.46	3469.67	3751.32	3637.92	3621.52	3605.34	3696.29
IG	57.98	58.28	51.36	52.72	52.48	52.25	56.87

CUADRO 14. VALORES DE TIWI E IQ EN LA RED DE MONITOREO DEL RIO TULA, HGO. (1988)

PARAMETRO	NOMBRE DE ESTACION							
	1.-RT4	2.-PVA	3.-RA1	4.-SOT	5.-RT2	6.-DPM	7.-DCFE	8.-OTPR
pH	100	61.07	100	100	100	100	100	100
DBO 5	186.96	147.09	171.03	155.76	122.61	117.33	115.98	182.91
DQO	120.88	88.20	107.32	89.36	73.16	74.02	67.38	111.78
CLORUROS	188.76	200	200	200	200	200	191.56	200
N.ORG.	242.48	221.12	216.40	207.40	202.76	205.96	201.52	231.68
N.NO3	266.84	400	400	400	400	400	400	400
ALC.TOT.	138.84	147.76	146.96	143.32	147.96	151.24	140.48	177.92
DUREZA TOTAL	114.50	150.08	135.00	137.06	97.36	94.38	135.34	179.80
SULFATOS	162.66	170.18	169.52	172.32	153.26	131.74	139.42	200
PO4	243.54	206.60	186.80	181.96	192.08	198.72	172.04	253.44
BORO	176.88	175.47	175.77	172.98	169.71	173.82	155.01	204.39
G y A	5.92	6.96	11.08	3.04	.52	.92	2.80	6.52
FEMOLES	327.70	285.00	316.25	263.40	282.25	217.85	243.30	332.70
ST	139.86	98.50	148.28	148.12	135.78	130.58	124.68	153.60
SOT		223.68	219.36	217.47	203.52	173.76	195.93	
TURBIDIDAD	85.13	50.64	71.79	56.06	59.58	55.96	44.33	59.43
COLOR	79.19	29.23	44.89	36.86	36.86	40.27	14.02	44.87
SODIO	229.68	240.60	242.10	234.36	246.93	218.76	215.31	300
COL.TOT.	18.30	25.45	18.45	12.45	3.40	1.50	.10	.32
COL.FEC.	16.95	62.16	27.15	9.65	4.50	10.15	.30	32.10
TIWI	2845.09	2990.62	3108.95	2941.57	2832.24	2696.96	2664.53	3171.44
IQ	51.73	51.56	53.60	50.71	48.83	46.50	45.91	57.66

NOMBRE DE LAS ESTACIONES

- 1.-RT4 = 1.-RT4 R.Tula P.Cd.Ixmiquilpan
- 2.-PVA = 2.-PVA Obr.toma Pres.V.Aguirre
- 3.-RA1 = 3.-RA1 Rio Alfajayucan
- 4.-SOT = 4.-SOT S. Obr.toma Presa Encho
- 5.-RT2 = 5.-RT2 Rio Tula Pte. Cd. Tula
- 6.-DPM = 6.-DPM R. Tula Desc. Refineria
- 7.-DCFE = 7.-DCFE C.Encho Desc.Termoelectrica
- 8.-OTPR = 8.-OTPR Obr.toma Presa Requena

CUADRO 14. CONTINUACION

NOMBRE DE ESTACION

PARAMETRO	7.-Rte.	8.-EMC	1.-RT3	2.-RS2	3.-RT2A	5.-RT1	6.-PRG
pH	100	100	100	100	100	100	100
DBO 5	136.65	112.77	183.63	163.77	196.35	129.33	165.48
DQO	84.38	65.38	114.14	93.90	121.56	73.74	94.44
CLORUROS	200	200	198.76	156.04	200	200	200
N.ORG.	209.32	200.96	240.28	218.40	230.20	195.08	203.72
N.NO3	400	400	284.68	251.84	326.56	400	400
ALC.TOT.	169.88	147.20	139.44	125.76	145	151.76	147.04
DUREZA TOTAL	177.40	174					
SULFATOS	200	183.90	165.54	162.20	167.88	193.26	174.38
PO4	219.12	178.72	229.96	196.60	217.20	196.20	195.72
BORO	195.81	181.44	181.14	140.04	196.44	178.02	177.15
O y A	2.44	.96	1.68	6.24	5.68	3	5.20
FENÓLES	307.05	371.25	276.65	281.20	316.25	271.10	288.60
ST	150.10	142.26	141.90	129.92	145.48	146.84	149.58
SOT		228.84					
TURBIDEDAD		44.16					
COLOR	10.37	22.48					
SODIO	277.68	235.80	240.33	216.33	257.64	251.34	245.19
COL.TOT.	1.50	.20	38.95	5.31	25.35	.35	11.60
COL.FEC.	6.55	.20	9.60	3.65	30.55	1.35	
ELIWI	2848.55	2990.52	2546.68	2251.19	2682.14	2491.37	2558.10
IG	52.74	51.56	49.97	48.14	52.59	48.85	55.61

NOMBRE DE LAS ESTACIONES

- 7.-Rte. = 7.-Rte.Río Tepaji Pt.Carr.Tepaji
- 8.-EMC = 8.-EMC Salida Emisor Central
- 1.-RT3 = 1.-RT3 R.Tula P.Carr.Mixquihuala
- 2.-RS2 = 2.-RS2 R.Salado Est.Hidr.Tezontepec
- 3.-RT2A = 3.-RT2A R.Tula Pte.Est.Piscicola
- 5.-RT1 = 5.-RT1 R.Tula P.Cd.Coop.Cruz Azul
- 6.-PRG = 6.-PRG Car.T.Presa Rojo Gómez

CUADRO 15. VALORES DE IIVI E IG EN LA RED DE MONITOREO DEL VALLE DE MEXICO (1988)

NOMBRE DE ESTACION

PARAMETRO	Emisor Peniente	Rio de los Remedios	C. Santo Tomás	Gran C. Km 6+500	Gran C. Km 27+500	Rio Churubusco	Rio Cilia
pH	100	100	100	100	100	100	100
DBO 5	115.05	112.35	114.21	107.94	111.15	117.54	105.06
DQO	66.68	63.86	64.28	62.52	62.20	69.50	78.04
CLORUROS	200	200	200	200	152.40	200	134.72
N.NH3	93.40	96.04	104.20	91.16	92.60	98.52	115.28
N.ORG.	211.20	207.88	211.92	198.80	207.40	211.60	205.08
N.NO3	400	400		400			
N.NO2	275.16	259.44		317.84		323.96	309.08
ALC.TOT.	145.80	152.04	154.68	143.60	131.04	142.16	126.96
DUREZA TOTAL	159.98	161.74	177.10	163.56	148.20	155.16	134.36
SULFATOS	138.10	175.68	166.96	161.28	163.82	160.50	166.66
PO4	187.84	176.08	189.04	176.88	173.40	182.92	181.64
O y A	.52	.28	.52	.24	1.96	1.20	.20
ST	135.36	138.84	148.70	139.94	131.22	146.14	120.24
SOT	212.40	231.93	135.71	225.42	199.65	225.15	188.01
CONDUCTIVIDAD	118.47	129.21		123.33	115.23	124.14	106.17
COLOR	13.18	12.93		19.10	14.13	19.10	11.19
IIVI	2573.14	2618.26	1867.32	2631.61	1804.40	2277.59	2084.49
IG	54.74	55.79	53.35	55.89	46.26	52.94	48.87

## 5.2 Usos recomendados del agua de acuerdo al índice.

En la interpolación del índice de calidad (IG) de cada estación de muestreo en el cuadro No. 12. obtenemos que el agua se puede destinar a los siguientes usos:

### Red de Monitoreo de Xochimilco, D.F.

Estación	Usos recomendables.
E. Caltongo	Navegación y riego agrícola.
L. los Reyes	Navegación.
C. Chalco	Navegación.
R. Sn. Buenaventura	Navegación.
C. Nacional	Navegación.
Santa Teresa	Navegación.
Lago Chapultepec	Navegación y riego agrícola.

En general la calidad del agua de la red de Xochimilco, en todas las estaciones de muestreo están restringidos al uso de navegación, pero los valores de IG de la mayoría de las estaciones se acercan bastante al límite inferior para uso agrícola, lo que nos indicaría que es posible aceptar el uso del agua con este fin, pero no es recomendable. Por lo tanto, es importante realizar un análisis de las concentraciones de los parámetros de mayor importancia en el agua para uso agrícola.

Red de Monitoreo del Río Tula, Hgo.

Estación	Usos recomendables.
1.- RT4	Navegación.
2.- PVA	Navegación.
3.- RA1	Navegación.
4.- SOT	Navegación.
5.- RT2	Navegación.
6.- DPM	Navegación.
7.- DCFE	Navegación.
6.- OTPR	Navegación y riego agrícola.
7.- Rte	Navegación.
8.- EMC	Navegación.
1.- RT3	Navegación.
2.- RS2	Navegación.
3.- RT2A	Navegación.
4.- PRG	Navegación y aceptable para riego agrícola pero no recomendable.
5.- RT1	Navegación.

Lo que se observa en la mayoría de las estaciones de la Red de Monitoreo del Río Tula, Hgo., es que el uso más factible del agua es la navegación; sin embargo, el agua de las estaciones 6.-OTPR y 4.-PRG puede destinarse para riego agrícola, con el inconveniente de realizar una interpretación de los resultados de los parámetros que se consideran de mayor importancia para la agricultura.

Red de Monitoreo del Valle de México

Estación	Usos recomendables
Emisor Poniente	Navegación.
Río de los Remedios	Navegación y aceptable para riego agrícola pero no recomendable.
C. Santo Tomás	Navegación y aceptable para riego agrícola pero no recomendable.
Gran C. Km. 6 + 500	Navegación y aceptable para riego agrícola pero no recomendable.
Gran C. Km. 27 + 500	Navegación.
Río Churubusco	Navegación.
Río Cía	Navegación.

En general, el agua de las estaciones de muestreo de la Red de Monitoreo del Valle de México, se pueden usar para la navegación, pero los valores de IG de la mayoría de las estaciones están muy cercanos al valor inferior de aceptabilidad para uso agrícola, lo que nos indica que es posible utilizar estas aguas con este fin, sin embargo, se deben tener ciertos cuidados debido a que en esta red de monitoreo no se cuenta con los análisis de coliformes.

### 5.3 Evaluación de los parámetros seleccionados.

En todas las estaciones de la Red de Monitoreo se observa que el uso más indicado para el agua es la navegación, pero lo más importante es tratar de adaptar el agua a un uso de mayor importancia como es el riego agrícola. Por lo tanto en esta sección se interpretan los resultados de los parámetros más significativos en este uso del agua.

#### Red de Monitoreo Xochimilco, D.F.

##### Conductividad.

La conductividad del agua de todas las estaciones está por debajo del límite permisible, observándose el valor más alto en la estación de L. los Reyes y el valor mínimo en el Lago de Chapultepec, por lo tanto, todos los valores están dentro del valor permisible para uso agrícola.

##### Potencial de hidrógeno (pH).

El pH del agua, en todas las estaciones es marcadamente alcalino, en donde el valor máximo se presenta en el Lago de Chapultepec (pH promedio = 9.14); pero con excepción de esta estación, las restantes tienen un valor de pH dentro de los límites permisibles.



#### **Sodio.**

En este parámetro no se tiene problema en las estaciones de R. Sn. Buenaventura, Santa Teresa y Lago Chapultepec, ya que tienen un valor promedio menor al límite máximo permisible, pero en las estaciones de E. Caltongo, L. los Reyes, C. Chalco y C. Nacional se tendrían problemas debido a que el valor promedio, está por encima del límite permisible, y por lo tanto el suelo que se irrigará con estas aguas se afectaría en sus características físicas, como es la permeabilidad del suelo.

#### **Boro.**

En todas las estaciones de muestreo, la concentración del boro en el agua está por debajo del límite permisible, y por lo tanto esto haría que se realizara un efecto beneficioso en las plantas, por ser esencial para el crecimiento de éstas.

#### **Sólidos disueltos totales.**

En general los valores promedio de la concentración de los SDT en el agua están dentro de los valores permisibles, con excepción del agua en la estación de L. los Reyes que sobrepasa este valor, y por lo tanto el uso de esta agua afectaría las condiciones físicas del suelo, como sería la permeabilidad de éste.

#### **Dureza.**

La dureza es importante en la irrigación debido al peligro que corren los suelos de la precipitación de los iones calcio y magnesio, este tipo de problema se presentaría al utilizar el agua de las estaciones de L. los Reyes, debido a que el valor de

dureza es mayor al valor aceptable en uso agrícola, pero en el agua de las demás estaciones no se tendría este tipo de problemas.

#### **Coliformes fecales.**

En cuanto a este parámetro, el agua de todas las estaciones no es aceptable para uso agrícola debido a que los valores promedio son mayores al valor aceptable, y por lo tanto el uso se esta agua podría tener como consecuencia la contaminación de los vegetales con parásitos, que posteriormente dañarían a los consumidores de éstos.

En general en todas las estaciones de muestreo de la Red de Xochimilco, D.F.; con excepción de la estación L. los Reyes, se pueden utilizar para riego agrícola, pero con ciertos riesgos, ya que se puede dañar a el suelo, a los vegetales y a los consumidores de los productos agrícolas.

#### **Red de Monitoreo del Río Tula, Hgo.**

#### **Conductividad.**

En cuanto a este parámetro no se puede determinar como afectarían las sales a el suelo, debido a que no se cuenta con los valores de conductividad en el estudio.

#### Potencial de Hidrógeno (pH).

El pH de la mayoría de las estaciones es marcadamente alcalino, en donde el valor máximo se encuentra en la estación 2.-PVA (valor promedio = 8.97), el cual no entra en el rango de los límites de aceptación, en el resto de las estaciones está dentro de los límites permisibles para el agua de uso agrícola.

#### Sodio.

En la mayoría de las estaciones de muestreo, la concentración de sodio en el agua está por arriba del valor permisible, lo que nos indica que al usar esta agua para la irrigación de cosechas, tendríamos el problema de dañar a el suelo en sus características físicas, excepto con el agua de las estaciones 6.-OTPR y 7.-Rte, ya que su valor promedio está dentro del límite aceptable.

#### Boro.

En general el agua de la mayoría de las estaciones de muestreo tiene una concentración de boro por debajo de el límite permisible para uso agrícola, con la excepción de las estaciones 7.- DCFE y 2.- RS2 que tienen un valor mayor y, por lo tanto, el usar el agua de estas dos estaciones podría afectar a las plantas, ya que en estas concentraciones resulta ser tóxico el boro a los vegetales.

#### Sólidos Disueltos Totales.

En la Red se tiene el problema de que existen estaciones de muestreo que no cuentan con este parámetro y además los valores con que se cuentan son mayores al límite permisible para el agua de uso agrícola, con lo que al usar estas aguas tendríamos problemas de permeabilidad del suelo.

#### Dureza.

En cuanto a este parámetro, el agua de las estaciones de muestreo 2.-PVA, 6.-OTPR, 7.-Rte y 8.-EMC tiene un valor menor al límite permisible, lo que hace que estas aguas sean aceptables para riego agrícola; pero en las restantes estaciones el usar su agua podría tener consecuencias como son la de afectar la permeabilidad del suelo.

#### Coliformes fecales.

En todas las estaciones de muestreo el agua tiene valores bastante altos al compararlos con el valor permisible, lo que nos indica que el agua no es recomendable para uso agrícola, además de que al encontrarse gran cantidad de coliformes fecales, se presume que el agua fue contaminada con materia fecal de animales de sangre caliente.

En general, se observa que los valores promedio de las estaciones de muestreo de la red de Monitoreo del Río Tula, Hgo.; no entran en los límites permisibles de los parámetros de mayor importancia en el agua de uso agrícola, lo que nos indica que el usar esta

agua con este fin, nos traería severas consecuencias tanto al suelo como a los vegetales y a los consumidores de los productos agrícolas.

#### Red de Monitoreo del Valle de México.

##### Conductividad.

En la mayoría de las estaciones de muestreo, la conductividad del agua está dentro de el valor máximo permisible, pero en la estación del Río Cía el valor es mayor a éste, por lo tanto, el uso de esta agua nos traería problemas con la salinidad del suelo.

##### Potencial de hidrógeno (pH).

El pH del agua en todas las estaciones de muestreo es marcadamente alcalino, pero no excede el límite aceptable para el agua de uso agrícola, por lo que en este parámetro no se corre el riesgo al usar el agua con este fin.

##### Sodio.

Por lo que respecta a este parámetro se tiene problema debido a que las estaciones de muestreo no cuentan con la determinación, y por consiguiente no se podrían pronosticar los efectos que se darían en las cosechas al usar estas aguas para irrigar.

#### **Boro.**

En estas estaciones de muestreo, no se cuenta con esta determinación, y por consecuencia no se podría prescribir el efecto del boro sobre los vegetales si el agua se usará para uso agrícola.

#### **Sólidos disueltos totales.**

En la mayoría de las estaciones se tiene problemas en la concentración de los SDT, ya que el valor promedio es mayor al límite aceptable para el agua de uso agrícola, y por consecuencia el uso de estas aguas en la agricultura afectaría las características del suelo. En cambio, en las estaciones del Río de los Remedios y del C. Santo Tomas no se tendría problemas de afección.

#### **Dureza.**

Por la concentración de la dureza en el agua de la mayoría de las estaciones no se tendrían problemas debido a que los valores promedio están dentro del límite aceptable para el agua de uso agrícola. Sin embargo, el usar el agua de la estación del Río Cia podría causar la precipitación de los iones calcio y magnesio, con la consecuencia de afectar la permeabilidad del suelo.

#### **Coliformes fecales.**

No en todas las estaciones se cuenta con la determinación de los coliformes fecales en el agua, y por lo tanto no se podría tener un pronóstico de las consecuencias que daría el uso de estas aguas a la agricultura.

En general, ya que en la red de Monitoreo del Valle de México no se tienen los valores de algunos de los parámetros que son importantes para el agua de uso agrícola, al utilizar esta agua no se podría pronosticar los daños que causaría al suelo, a los vegetales y a los consumidores de los productos agrícolas.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- 1.- El índice de calidad del agua es un sistema de información para evaluar calidad del agua, y sirve como una herramienta para comunicar a gran parte de la población el estado que guarda un cuerpo de agua.
- 2.- El hecho de contar con un índice de calidad modificado de acuerdo a las normas mexicanas, ayudará a las dependencias oficiales y al público a evaluar los progresos logrados en los programas de manejo de calidad del agua.
- 3.- El análisis de los resultados obtenidos en la Red de Monitoreo de Xochimilco, D.F. permite observar que las aguas no sufren grandes variaciones en su calidad, ya que los índices de calidad son muy semejantes entre ellos. Presentándose el valor mínimo (índice de calidad = 50.28) en la estación L. los Reyes y el valor máximo (índice de calidad = 57.08) en la estación E. Caltongo.
- 4.- Los valores de índices de calidad obtenidos en la Red de Monitoreo de Xochimilco, D.F. nos indican que el uso más recomendable a destinar el agua es la navegación y el agua de las estaciones E. Caltongo y L. Chapultepec además pueden utilizarse para riego agrícola. Pero la estación C. Chalco tiene un índice de calidad muy cercano al límite inferior de



aceptabilidad para uso agrícola, por lo que podría ser posible utilizar estas aguas con este fin, nada más que se correría el riesgo de dañar al suelo, los vegetales y a los consumidores de los productos agrícolas.

- 5.- Los resultados obtenidos en la Red de Monitoreo del Río Tula, en Hgo., nos permiten observar que las aguas sufren fuertes variaciones en su calidad, presentándose el valor mínimo (Índice de calidad = 44.17) en la estación 2.-RS2 y el valor máximo (Índice de calidad = 57.66) en la estación de 4.-OTPR.
- 6.- El agua de las estaciones de la Red de Monitoreo del Río Tula, en Hgo., puede ser utilizada para la navegación, pero el agua de las estaciones 6.-OTPR y 4.-PRG además puede utilizarse para riego agrícola.
- 7.- El análisis de los resultados obtenidos en la Red de Monitoreo del Valle de México, permite observar que las aguas sufren una moderada variación de calidad entre ellas, que va desde un índice de calidad de 46.26 en el Gran C. Km 27 + 500 hasta un 55.89 en el Gran C. Km 6 + 500.
- 8.- Los valores de índice de calidad en la Red de Monitoreo del Valle de México, indican que el uso más recomendable es la navegación. Además el agua de las estaciones Río Churubusco, Río de los Remedios, Gran C. Km 6 + 500, C. Santo Tomás y Emisor Poniente tienen un índice de calidad

muy cercano al límite aceptable para el agua de uso agrícola. No obstante el estudio tiene el inconveniente de no presentar análisis de coliformes, por lo cual se deben tener ciertas precauciones en el uso de estas aguas.

## 6.2 Recomendaciones

- 1.- Deben continuarse periódicamente las mediciones para determinar la calidad del agua en los tres diferentes estudios de monitoreo.
- 2.- Es importante completar este estudio con una evaluación de parásitos, para evitar posible contaminación de los vegetales en el caso de usar las aguas para riego agrícola.
- 3.- Es conveniente realizar un estudio para detectar y evitar las fuentes de contaminación en las aguas de las tres diferentes redes de monitoreo.
- 4.- El índice de calidad se puede aplicar tanto a aguas naturales, residuales o tratadas.
- 5.- Debe hacerse un estudio de las consecuencias que tiene el usar aguas residuales en la agricultura.

6.- Es recomendable contar con la determinación de coliformes y metales. debido a que estos parámetros tiene mayor peso de importancia en el índice de calidad.

7.- Es importante determinar índices de calidad de agua para los diferentes procesos de la industria.

## 7 SIMBOLOGIA

IG	=	Indice de calidad global
II	=	Indice de calidad del parametro
WI	=	Peso de importancia relativa
pH	=	Potencial de hidrógeno
DBO 5	=	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	=	Demanda química de oxígeno
Cl	=	Cloruros
NH3	=	Nitrógeno amoniacal
N.ORG	=	Nitrógeno orgánico
NO3	=	Nitrógeno de nitratos
NO2	=	Nitrógeno de nitritos
ALC	=	Alcalinidad total
DUR	=	Dureza total
SO4	=	Sulfatos
PO4	=	Fosfatos
G y A	=	Grasas y aceites
ST	=	Sólidos totales
SDT	=	Sólidos disueltos totales
TUR	=	Turbiedad
F-	=	Fluoruros
Cr6+	=	Cromo hexavalente
CT	=	Coliformes totales
CF	=	Coliformes fecales

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALZ y Asociados, S.A. "Estudio de la calidad del agua en la bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit". SRH. México. Diciembre 1975.
- 2.- APHA, AWWA and WPCF. "Standard methods for the examination of water and wastewater". 16th. Edition. Washington, D.C. 1985.
- 3.- Athie Lombarri, Mauricio Carlos. "Water quality management in Clvac, Morelos". Thesis for the degree of master of science. University of Strathalyde. Departament Civil Engineery. Public Health Division . 1978.
- 4.- Ball, R.O. and Church, R.L. "Water quality indexing and scoring". Journal of the environmental engineering division, ASCE. Vol. 106. No. EE4. 1980.
- 5.- David, L. Elizabeth. "Public perceptions of water quality". Water resources research. Vol. 7. No. 3. Wisconsin, USA. Junio 1971.
- 6.- Departamento de ingeniería civil. DIDIA. ITESM. "Estudio de la factibilidad técnica y económica de la utilización del agua en la ciudad de Monterrey. SRH. Subsecretaría de planeación. Mayo 1975. 1era. Etapa.

- 7.- Diario oficial de la federación. Organó del gobierno constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. "Normas de calidad para agua y hielo para uso humano y para refrigerar". Tomo CDXII. No. 11. México, D.F. Marzo 1988.
- 8.- Dinius, S.H. "A water resources information system". Water resource research. Vol. 8, No. 5. 1972.
- 9.- Dinius, S.H. "Social accounting system for evaluating water resources". Water resource research. Vol. 8, No. 5. 1972.
- 10.- Dioni, G.W. "Un índice de calidad para aguas marinas de uso turístico con contacto primario aplicable a la Bahía de Acapulco". SARH. México 1980.
- 11.- Diseños hidráulicos y técnico ambiental, S.A. "Estudios sobre usos del agua, métodos y costos para el control de la contaminación del agua residual en la industria petrolera". SRH. Enero 1975.
- 12.- Dr. Aguirre Martínez, Jorge. "Reutilización de aguas residuales para propósitos agrícolas e industriales. Seminario Mexicano-Israelí 30 Sep - 13 Oct. SRH. 1974.
- 13.- GEMS: Sistema mundial de monitoreo del ambiente/Agua. "Guía Operacional". CEPIS: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. 1983.

- 14.- Harkins, R.O. "An objective water quality index". Journal of water pollution control federation. Vol. 46. No. 3. 1974.
- 15.- Horton, R.H. "An index number system for rating water quality". Journal of water pollution control federation". Vol 37. No 3. 1965.
- 16.- Lohani, N. Bindu and Todino, G. "Water quality Index for Chao Phraya river". Journal of environmental engineering, ASCE. Vol 110. No. 6. Diciembre 1984.
- 17.- OMS/Secretaría de salud. "Guía para la calidad del agua de bebida. Control de calidad del agua de bebida en suministro de pequeñas comunidades". Vol. III. México, D.F. 1987.
- 18.- OPS/OMS. "Guías para la calidad del agua potable. Criterios relativos a la salud y otra información de base". Vol II. Washington, D.C. 1987.
- 19.- OPS/OMS. "Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones". Vol. I. Washington, D.C. 1985.
- 20.- Prati, L.; Pavanello, R. and Presarin, F. "Assessment of surface water quality by a single index of pollution". Water research. Vol. 5. No. 9. Ferrara, Italia. Septiembre 1971.

- 21.- SARH. "Manual del curso de análisis de aguas y aguas de desecho. Vol I, II y III. Secretaría de planeación. 4ª edición. México
- 22.- SARH. "Índice de calidad del Agua". Dirección general de protección y ordenación ecológica. Subsecretaría de planeación. México 1979.
- 23.- SARH, IMTA. "Técnicas de muestreo de aguas y determinación en el campo". 1era. reimpresión. 4ª edición. México 1986.
- 24.- SARH. "Manual del curso: Estudios de calidad del agua". Dirección general de usos del agua y prevención de la contaminación. Subsecretaría de planeación. México, D.F. Julio 1983.
- 25.- SARH. "Técnicas de análisis físicoquímicos para agua". Dirección general de usos del agua y prevención de la contaminación. Subsecretaría de planeación. 5ª edición. México 1982.
- 26.- Schaeffer, D.J. and Janardan, H.G. "Communicating environmental information to the public: A new water quality index". Journal of environmental education. Vol. 8. No. 4. 1977.



- 27.- Secretaría de comercio y fomento Industrial. NOM AA-3-1980.  
"Aguas residuales". Dirección general de normas. México  
1980.
- 28.- Secretaría de comercio y fomento Industrial. NOM AA-14-1980.  
"Cuerpos receptores". Dirección general de normas. México  
1980.
- 29.- Secretaría de salud. "Instructivo para la vigilancia y  
certificación de la calidad sanitaria de agua para consumo  
humano". México, D.F. 1987.
- 30.- SRH, SSA. "Manual del curso de análisis de aguas y aguas de  
desecho". Vol I y II. Dirección general de usos del agua y  
prevención de la contaminación. CIECCA. México 1973.
- 31.- SRH, SSA. "Reglamento para la prevención y control de la  
contaminación de aguas". México, D.F. 1973.
- 32.- Tejeda González, Carlos; Orta Ledezma, Ma. Teresa y Murillo  
Favela, Cesar. "Evaluación, verificación y planeación de la  
prevención y control de la contaminación del agua en México.  
Anexo I. Panorama nacional de calidad del agua superficial".  
SARH. CPNH. México, D.F. 1984.
- 33.- UNAM. Instituto de ingeniería. "Estudio limnológico del lago  
de Chapala". SRH. Segunda etapa. Vol. I y II. México 1973.

34.- UNAM. Instituto de Ingeniería. "Estudio limnológico del lago de Chapala". SRH. Tercera etapa. Vol. I y II. México 1974.

35.- Walski, M. Thomas and Parker, L. Frank. "Consumers water quality Index". Journal of the environmental division, ASCE. Vol. 100. No. EE3. Junio 1974.

36.- Zapater Roviera, Juan M. "Reutilización de aguas residuales para agricultura. CEPIS. Lima, Perú. Enero 1980.